

明 細 書

内燃機関の吸入空気量制御装置

技術分野

- [0001] 本発明は、吸気弁のバルブリフトおよびカム位相すなわちバルブタイミングをいずれも可変制御することにより、吸入空気量を制御する内燃機関の吸入空気量制御装置に関する。

背景技術

- [0002] 従来、吸入空気量を制御する内燃機関の吸入空気量制御装置として、特許文献1に記載されたものが知られている。この内燃機関には、バルブリフト可変機構およびカム位相可変機構が設けられており、バルブリフト可変機構により、吸気弁のバルブリフトが変更されるとともに、カム位相可変機構により、吸気カムシャフトのクランクシャフトに対するカム位相が変更されることで、吸気弁のバルブタイミングが変更される。
- [0003] この吸入空気量制御装置では、カム位相可変機構およびバルブリフト可変機構を介して、吸気弁のカム位相およびバルブリフトをいずれも可変制御することにより、吸入空気量が制御される。具体的には、内燃機関の負荷などに応じて、バルブリフトの目標値である目標バルブリフト、およびカム位相の目標値である目標カム位相がそれぞれ設定されるとともに、これらの目標値に基づいて、フィードバック制御が実行される。また、吸気弁とピストンとの干渉を回避するために、目標カム位相または目標バルブリフトが補正される。具体的には、例えば、センサにより検出された検出バルブリフトと目標バルブリフトとの偏差を所定のしきい値と比較し、この偏差がしきい値以上のときには、目標カム位相が所定値分、遅角側に補正される(同文献の図10に示す例)。

- [0004] 特許文献1:特開2002-332876号公報

発明の開示

- [0005] 上記従来の吸入空気量制御装置のように、バルブリフト可変機構およびカム位相可変式機構を双方とも駆動しながら、吸入空気量を制御した場合、すなわちバルブリフト制御およびカム位相制御を双方とも実行しながら、吸入空気量を制御した場合、

2つの可変機構の動作特性の差異に起因して、バルブリフト制御およびカム位相制御が互いに干渉し合うことにより、吸入空気量制御の制御精度および応答性の低下を招くおそれがある。すなわち、バルブリフト可変機構を介してバルブリフトを制御した場合には、カム位相可変機構を介してカム位相を制御した場合よりも、吸入空気量をより迅速に変更することができ、それにより、吸入空気量制御の高い応答性を確保できる。一方、カム位相可変機構を用いた場合の方が、吸入空気量を微小な変化量できめ細かく制御でき、高い制御精度を確保できる。以上のように、バルブリフト制御およびカム位相制御は、互いに異なる吸入空気量の制御特性を有しているので、両制御が互いに干渉した場合には、吸入空気量を適切に制御することができない。例えば、内燃機関が低負荷域にある場合のような、高い制御精度が要求される場合、バルブリフト制御では吸入空気量をきめ細かく制御できないため、バルブリフト制御がカム位相制御に干渉すると、その影響により、制御精度の低下を招いてしまう。

[0006] 本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、カム位相制御およびバルブリフト制御をいずれも実行することで、吸入空気量を制御する場合において、カム位相制御およびバルブリフト制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、吸入空気量制御の応答性および制御精度を向上させることができる内燃機関の吸入空気量制御装置を提供することを目的とする。

[0007] 上記目的を達成するために、請求項1に係る発明は、吸気弁4を開閉するための吸気カムシャフト5のクランクシャフト3bに対するカム位相Cainをカム位相可変機構70を介して可変制御するとともに、吸気弁4のバルブリフトLiftinをバルブリフト可変機構50を介して可変制御することにより、気筒内に吸入される吸入空気量を制御する内燃機関3の吸入空気量制御装置1であって、吸入空気量制御の目標となる目標吸入空気量Gcyl_cmdを、内燃機関3の負荷を表す負荷パラメータ(エンジン回転数NE、アクセル開度AP)に応じて設定する目標吸入空気量設定手段(ECU2、目標吸入空気量算出部90、ステップ20, 21)と、吸入空気量(実吸入空気量Gcyl)を検出する吸入空気量検出手段(ECU2、エアフローセンサ22、吸気管内絶対圧センサ23)と、検出された吸入空気量が目標吸入空気量に収束するように、カム位相およびバルブリフトの一方を制御するための第1制御値(目標バルブリフトLiftin_cmd、

目標カム位相Cain__cmd)を算出する第1制御値算出手段(ECU2、第1および第2 ACTASSコントローラ100, 200、ステップ37, 38)と、第1制御値算出手段により算出された第1制御値に基づき、カム位相およびバルブリフトの他方を制御するための第2制御値(目標バルブリフトLiftin__cmd、目標カム位相Cain__cmd、スレーブ値Liftin__cmd_sl, Cain__cmd_sl)を算出する第2制御値算出手段(ECU2、第1および第2スレーブ値算出部110, 210、ステップ51, 52, 56, 60, 64)と、を備えることを特徴とする。

[0008] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、吸入空気量制御の目標となる目標吸入空気量が、内燃機関の負荷を表す負荷パラメータに応じて設定され、検出された吸入空気量が目標吸入空気量に収束するように、カム位相およびバルブリフトの一方を制御するための第1制御値が算出され、第1制御値に基づき、カム位相およびバルブリフトの他方を制御するための第2制御値が算出される。このように、吸入空気量を目標吸入空気量に収束させるための第1制御値に基づき、第2制御値が算出されるので、これを、第1制御値による吸入空気量の目標吸入空気量への収束性を阻害することのない値として算出することができる。その結果、例えば、第1制御値でカム位相を制御し、第2制御値でバルブリフトを制御した場合には、両制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、吸入空気量を微小な変化量できめ細かく制御でき、制御精度を向上させることができる。一方、第1制御値でバルブリフトを制御し、第2制御値でカム位相を制御した場合には、両制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、吸入空気量制御のむだ時間を小さくでき、応答性を向上させることができる。

[0009] 請求項2に係る発明は、請求項1に記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、第1制御値は、吸入空気量を目標吸入空気量に収束させるためのフィードバック制御値(マスタ値Liftin__cmd_ms, Cain__cmd_ms)を含み、第1制御値手段は、フィードバック制御値を2自由度制御アルゴリズム[式(2)～(7), (10)～(14), (16)～(21), (24)～(28)]により算出することを特徴とする。

[0010] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、第1制御値に含まれるフィードバック制御値が、2自由度制御アルゴリズムにより算出されるので、2自由度制御アルゴリズムとして、例えば目標値フィルタ型2自由度制御アルゴリズムを用いた場合、目標

値フィルタアルゴリズムにより、吸入空気量の目標吸入空気量への収束速度を適切に設定することができるとともに、フィードバック制御アルゴリズムにより、吸入空気量の目標吸入空気量への収束挙動を適切に設定することができる。

[0011] 請求項3に係る発明は、請求項1または2に記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、第1制御値(目標バルブリフト $Liftin_cmd$ 、目標カム位相 $Cain_cmd$)に応じて、カム位相可変機構70およびバルブリフト可変機構50の一方への制御入力(位相制御入力 $Ucain$ 、リフト制御入力 $Uliftin$)を算出するとともに、第2制御値に応じて、カム位相可変機構70およびバルブリフト可変機構50の他方への制御入力(位相制御入力 $Ucain$ 、リフト制御入力 $Uliftin$)を算出する制御入力算出手段(ECU2、バルブリフトコントローラ120、カム位相コントローラ220、ステップ2, 3)をさらに備え、第1制御値算出手段および第2制御値算出手段の算出周期(制御周期 $\Delta T1$)は、制御入力算出手段の算出周期(制御周期 $\Delta T2$)よりも長く設定されていることを特徴とする。

[0012] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、カム位相可変機構およびバルブリフト可変機構の一方への制御入力、第1制御値に応じて算出され、カム位相可変機構およびバルブリフト可変機構の他方への制御入力、第2制御値に応じて算出されるとともに、第1および第2制御値算出手段の算出周期が、制御入力算出手段の算出周期よりも長く設定されている。吸入空気量を、カム位相可変機構およびバルブリフト可変機構を介して制御する場合、吸入空気量の応答速度は、両可変機構の応答速度に起因して、比較的、遅くなるのが一般的であるので、例えば、そのような応答速度に合致するように、第1および第2制御値算出手段の算出周期を適切に設定することにより、吸入空気量の過渡的変化を精度よく、制御することができる。さらに、制御入力算出手段の算出周期が、第1および第2制御値算出手段の算出周期よりも短いので、カム位相可変機構およびバルブリフト可変機構への制御入力を、第1および第2制御値よりも迅速に算出できることで、吸入空気量制御の安定性を向上させることができるとともに、両可変機構が非線形特性を有している場合でも、吸入空気量制御への影響を抑制することができ、その分、吸入空気量制御の安定性をさらに向上させることができる。

[0013] 請求項4に係る発明は、吸気弁4を開閉するための吸気カムシャフト5のクランクシャフト3bに対するカム位相Cainをカム位相可変機構70を介して可変制御するとともに、吸気弁4のバルブリフトLiftinをバルブリフト可変機構50を介して可変制御することにより、気筒内に吸入される吸入空気量を制御する内燃機関3の吸入空気量制御装置1であって、吸入空気量制御の目標となる目標吸入空気量Gcyl_cmdを、内燃機関の負荷を表す第1負荷パラメータ(エンジン回転数NE、アクセル開度AP)に応じて設定する目標吸入空気量設定手段(ECU2、目標吸入空気量算出部90、ステップ20, 21)と、吸入空気量(実吸入空気量Gcyl)を検出する吸入空気量検出手段(ECU2、エアフローセンサ22、吸気管内絶対圧センサ23)と、検出された吸入空気量(実吸入空気量Gcyl)が目標吸入空気量Gcyl_cmdに収束するように、バルブリフトLiftinを制御するとともに、バルブリフト制御を補助するために、カム位相Cainを所定の第1制御アルゴリズムで制御する第1制御手段(ECU2、第1ACTASSコントローラ100、第1スレーブ値算出部110、ステップ51, 52, 54, 56, 60, 63, 64)と、検出された吸入空気量が目標吸入空気量に収束するように、カム位相Cainを制御するとともに、カム位相制御を補助するために、バルブリフトLiftinを所定の第2制御アルゴリズムで制御する第2制御手段(ECU2、第2ACTASSコントローラ200、第2スレーブ値算出部210、ステップ51, 52, 55, 56, 60, 62, 64)と、内燃機関3の負荷を表す第2負荷パラメータ(目標バルブリフトLiftin_cmd、目標カム位相Cain_cmd)に応じて、第1制御手段および第2制御手段の一方を選択するとともに、選択した一方による制御を実行させる制御選択手段(ECU2、マスタ・スレーブ選択部230、ステップ34~36, 39)と、を備えることを特徴とする。

[0014] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、目標吸入空気量設定手段により、吸入空気量制御の目標となる目標吸入空気量が、内燃機関の負荷を表す第1負荷パラメータに応じて設定される。また、第1制御手段により、バルブリフトが、検出された吸入空気量が目標吸入空気量に収束するように制御されるとともに、カム位相が、バルブリフト制御を補助するために、所定の第1制御アルゴリズムで制御される。このように、第1制御手段では、バルブリフト制御を主体として吸入空気量が制御されるとともに、カム位相制御はバルブリフト制御の補助用に用いられるので、両制御が互い

に干渉し合うのを回避できる。さらに、第2制御手段により、カム位相が、検出された吸入空気量が目標吸入空気量に収束するように制御されるとともに、バルブリフトが、カム位相制御を補助するために、所定の第2制御アルゴリズムで制御される。このように、第2制御手段では、カム位相制御を主体として吸入空気量が制御されるとともに、バルブリフト制御がカム位相制御の補助用に用いられるので、両制御が互いに干渉し合うのを回避できる。さらに、制御選択手段により、内燃機関の負荷を表す第2負荷パラメータに応じて、第1制御手段または第2制御手段の一方が選択され、選択した一方による制御が実行されるので、例えば、内燃機関の負荷が低いときには、第2制御手段を選択するようにすれば、カム位相制御およびバルブリフト制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、カム位相制御により、吸入空気量を微小な変化量できめ細かく制御することができ、制御精度を向上させることが可能となる。一方、内燃機関の負荷が高いときには、第1制御手段を選択するようにすれば、カム位相制御およびバルブリフト制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、バルブリフト制御により、吸入空気量制御のむだ時間を小さくでき、応答性を向上させることが可能になる。

[0015] 請求項5に係る発明は、請求項4に記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、第1制御手段の所定の第1制御アルゴリズムは、バルブリフトの制御状態(目標バルブリフトLiftin_cmd)に応じてカム位相Cainを制御するアルゴリズムであり(ステップ60, 64)、第2制御手段の所定の第2制御アルゴリズムは、カム位相の制御状態(目標カム位相Cain_cmd)に応じてバルブリフトLiftinを制御するアルゴリズムである(ステップ51, 52, 56)ことを特徴とする。

[0016] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、第1制御手段により、カム位相がバルブリフトの制御状態に応じて制御されるので、カム位相を、バルブリフト制御による吸入空気量の目標吸入空気量への収束性を阻害することのないように、制御することができ、それにより、吸入空気量制御の応答性を確実に向上させることができる。また、第2制御手段により、バルブリフトがカム位相の制御状態に応じて制御されるので、バルブリフトを、カム位相制御による吸入空気量の目標吸入空気量への収束性を阻害することのないように、制御することができ、それにより、吸入空気量の制御精度を確実に向上させることができる。

- [0017] 請求項6に係る発明は、請求項4または5に記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、制御選択手段は、第2負荷パラメータにより表される内燃機関3の負荷が所定の第1負荷域にあるとき(ステップ34の判別結果がNO、またはステップ39の判別結果がYESのとき)には、第2制御手段を選択し(ステップ35)、第2負荷パラメータにより表される内燃機関の負荷3が所定の第1負荷域よりも高い所定の第2負荷域にあるとき(ステップ34の判別結果がYES、またはステップ39の判別結果がNOのとき)には、第1制御手段を選択する(ステップ36)ことを特徴とする。
- [0018] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、制御選択手段により、内燃機関の負荷が所定の第1負荷域にあるときには、第2制御手段が選択され、内燃機関の負荷が所定の第1負荷域よりも高い所定の第2負荷域にあるときには、第1制御手段が選択される。したがって、吸入空気量制御において、高い制御精度が要求される低負荷域では、そのような制御精度を適切に確保することができるとともに、高い応答性が要求される高負荷域では、そのような応答性を適切に確保することができる。
- [0019] 請求項7に係る発明は、請求項6に記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、制御選択手段は、内燃機関3が加速状態にあるか否かを判定する加速判定手段(ECU2、ステップ31)と、第2負荷パラメータ(目標カム位相Cain__cmd)が、所定のしきい値Cain__mssw__lmtよりも小さいときには、内燃機関3の負荷が所定の第2負荷域にあると判定し、所定のしきい値以上のときには、所定の第1負荷域にあると判定する負荷域判定手段(ECU2、ステップ34～36)と、所定のしきい値Cain__mssw__lmtを、加速判定手段により内燃機関3が加速状態にあると判定されたとき(ステップ31の判別結果がYESのとき)には、それ以外のときよりも大きい値(所定の加速用値Cain__mssw1)に設定するしきい値設定手段(ステップ32)と、を備えることを特徴とする。
- [0020] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、加速判定手段により、内燃機関が加速状態にあるか否かが判定され、負荷域判定手段により、第2負荷パラメータが所定のしきい値よりも小さいときには、内燃機関の負荷が所定の第2負荷域にあると判定され、所定のしきい値以上のときには、所定の第1負荷域にあると判定されるとともに、しきい値設定手段により、所定のしきい値は、内燃機関が加速状態にあると判定

されたときには、それ以外のときよりも大きい値に設定される。このように、内燃機関が加速状態にある場合、すなわち吸入空気量制御の高い応答性が要求される場合には、内燃機関の負荷が所定の第2負荷域にあると判定される負荷領域がより拡大されることで、第1制御手段が選択されやすくなり、それにより、吸入空気量制御での高い応答性を迅速かつ適切に確保することができる。

[0021] 請求項8に係る発明は、請求項6に記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、制御選択手段は、内燃機関3が加速状態にあるか否かを判定する加速判定手段(ECU2、ステップ50)と、第2負荷パラメータ(目標バルブリフトLiftin_cmd)を、加速判定手段により内燃機関3が加速状態にあると判定されたとき(ステップ50の判別結果がYESのとき)には、それ以外のときよりも大きい値に設定する第2負荷パラメータ設定手段(ECU2、ステップ51)と、設定された第2負荷パラメータ(目標バルブリフトLiftin_cmd)が、所定のしきい値Liftin_mssw以下のときには、内燃機関3の負荷が所定の第1負荷域にあると判定し、所定のしきい値Liftin_msswよりも大きいときには、所定の第2負荷域にあると判定する負荷域判定手段(ECU2、ステップ35, 36, 39)と、を備えることを特徴とする。

[0022] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、加速判定手段により、内燃機関が加速状態にあるか否かが判定され、第2負荷パラメータ設定手段により、第2負荷パラメータが、内燃機関が加速状態にあると判定されたときには、それ以外のときよりも大きい値に設定される。また、負荷域判定手段により、第2負荷パラメータが所定のしきい値よりも大きいときには、内燃機関の負荷が所定の第2負荷域にあると判定され、所定のしきい値以下のときには、所定の第1負荷域にあると判定される。このように、内燃機関が加速状態にあるとき、すなわち吸入空気量制御の高い応答性が要求されるときには、内燃機関の負荷が所定の第2負荷域にあると判定される負荷領域がより拡大されることで、第1制御手段が選択されやすくなり、それにより、吸入空気量制御での高い応答性を迅速かつ適切に確保することができる。

[0023] 請求項9に係る発明は、請求項4ないし8のいずれかに記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、第1制御手段および第2制御手段の各々は、カム位相Ca_{in}を制御するためのカム位相制御値(目標カム位相Cain_cmd)を算出するカム位

相制御値算出手段(ECU2、ステップ38)と、バルブリフトLiftinを制御するためのバルブリフト制御値(目標バルブリフトLiftin_cmd)を算出するバルブリフト制御値算出手段(ECU2、ステップ37)と、を備え、カム位相制御値算出手段は、カム位相制御値(目標カム位相Cain_cmd)を、吸入空気量を目標吸入空気量に収束させるためのカム位相フィードバック制御値(目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_ms)と、バルブリフト制御値に応じて設定されるカム位相設定値(目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_sl)との和として算出し、バルブリフト制御値算出手段は、バルブリフト制御値(目標バルブリフトLiftin_cmd)を、吸入空気量を目標吸入空気量に収束させるためのバルブリフトフィードバック制御値(目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_ms)と、カム位相制御値に応じて設定されるバルブリフト設定値(目標バルブリフトのスレーブ値Liftin_cmd_sl)との和として算出し、第1制御手段のカム位相制御値算出手段は、制御選択手段により第1制御手段が選択されたときに、カム位相フィードバック制御値を値0に設定し(ステップ61, 63)、第2制御手段のバルブリフト制御値算出手段は、制御選択手段により第2制御手段が選択されたときに、バルブリフトフィードバック制御値を値0に設定する(ステップ53, 55)ことを特徴とする。

- [0024] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、カム位相を制御するためのカム位相制御値が、吸入空気量を目標吸入空気量に収束させるためのカム位相フィードバック制御値と、バルブリフト制御値に応じて設定されるカム位相設定値との和として算出され、バルブリフトを制御するためのバルブリフト制御値が、吸入空気量を目標吸入空気量に収束させるためのバルブリフトフィードバック制御値と、カム位相制御値に応じて設定されるバルブリフト設定値との和として算出される。さらに、制御選択手段により第1制御手段が選択されたときには、カム位相フィードバック制御値が値0として算出され、制御選択手段により第2制御手段が選択されたときには、バルブリフトフィードバック制御値が値0として算出される。これにより、例えば、制御選択手段による選択が第1制御手段から第2制御手段に切り換わった際、その切り換え前のカム位相フィードバック制御値が値0として算出されているので、切り換え後、カム位相フィードバック制御値が値0を初期値として算出されることにより、カム位相制御値が急変するのを回避できる。これとは逆に、制御選択手段による選択が第2制御手段から第

1制御手段に切り換わった際には、その切り換え前のバルブリフトフィードバック制御値が値0として算出されているので、切り換え後、バルブリフトフィードバック制御値が値0を初期値として算出されることにより、バルブリフト制御値が急変するのを回避できる。以上のように、制御選択手段による選択が第1制御手段および第2制御手段の一方から他方に切り換わる際、カム位相制御値およびバルブリフト制御値の急変を回避できることで、吸入空気量の制御状態の急変を回避できる。その結果、トルク段差などの発生を回避できる。

[0025] 請求項10に係る発明は、請求項9に記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、カム位相制御値算出手段は、2自由度制御アルゴリズム[式(2)～(7), (10)～(14)]により、カム位相フィードバック制御値(目標カム位相のマスタ値 $Cain_cmd_ms$)を算出し、バルブリフト制御値算出手段は、2自由度制御アルゴリズム[式(16)～(21), (24)～(28)]により、バルブリフトフィードバック制御値(目標バルブリフトのマスタ値 $Liftin_cmd_ms$)を算出することを特徴とする。

[0026] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、カム位相フィードバック制御値およびバルブリフトフィードバック制御値が、2自由度制御アルゴリズムにより算出されるので、2自由度制御アルゴリズムとして、例えば目標値フィルタ型2自由度制御アルゴリズムを用いた場合、目標値フィルタアルゴリズムにより、吸入空気量の目標吸入空気量への収束速度を適切に設定することができるとともに、フィードバック制御アルゴリズムにより、吸入空気量の目標吸入空気量への収束挙動を適切に設定することができる。

[0027] 請求項11に係る発明は、請求項9または10に記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、カム位相制御値算出手段は、バルブリフト制御値(目標バルブリフト $Liftin_cmd$)がバルブリフト $Liftin$ をより減少させるような値であるほど、カム位相設定値(目標カム位相のスレーブ値 $Cain_cmd_sl$)を吸気弁4の開弁タイミングをより早くするような値に設定し(ステップ60)、バルブリフト制御値算出手段は、カム位相制御値(目標カム位相 $Cain_cmd$)が吸気弁4の開弁タイミングをより早くするような値であるほど、バルブリフト設定値(目標バルブリフトのスレーブ値 $Liftin_cmd_sl$)をバルブリフト $Liftin$ をより減少させるような値に設定する(ステップ51, 52)こと

を特徴とする。

[0028] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、バルブリフト制御値がバルブリフトをより減少させるような値であるほど、カム位相設定値が、カム位相が吸気弁の開弁タイミングをより早くするような値に設定されるので、例えば、カム位相設定値を、吸気弁の開弁タイミングが吸気行程のTDC位置よりも前側となる値に設定すると、内燃機関の負荷が小さく、目標吸入空気量がより小さいことで、バルブリフトがより小さい値に制御されるほど、それに応じて、吸気弁の開弁タイミングもより早くなるように適切に制御することができる。すなわち、バルブリフト制御による吸入空気量の制御方向に、カム位相制御による吸入空気量の制御方向を同調させることができ、それにより、カム位相制御がバルブリフト制御に干渉するのをより確実に回避できる。また、カム位相制御値が吸気弁の開弁タイミングをより早くするような値であるほど、バルブリフト設定値が、バルブリフトをより減少させるような値に設定されるので、上述したように、カム位相制御値を、吸気弁の開弁タイミングが吸気行程のTDC位置の前側となる値に制御すれば、内燃機関の負荷が小さく、目標吸入空気量がより小さいことで、吸気弁の開弁タイミングがより早くなるように制御されるほど、それに応じて、バルブリフトもより小さい値に適切に制御することができる。すなわち、カム位相制御による吸入空気量の制御方向に、バルブリフト制御による吸入空気量の制御方向を同調させることができ、それにより、バルブリフト制御がカム位相制御に干渉するのをより確実に回避できる。また、吸気弁の開弁タイミングがより早くなるほど（すなわち進角するほど）、内部EGR量が増大し、燃焼速度が低下するけれども、それに伴ってバルブリフトをより小さく制御し、筒内流動を増大させることにより、そのような燃焼速度の低下を補償でき、安定した燃焼状態を実現することができる。さらに、吸気弁の開弁タイミングがより進角すると、バルブリフトが必ず小さくなるように制御されるので、吸気弁および排気弁が同時に開弁状態になると互いに当接するようなレイアウトの内燃機関に適用した場合、そのような当接を確実に回避することができる。

[0029] 請求項12に係る発明は、請求項9ないし11のいずれかに記載の内燃機関3の吸入空気量制御装置1において、カム位相制御値（目標カム位相Cain_cmd）に応じて、カム位相可変機構70への制御入力（位相制御入力Ucain）を算出するとともに、

バルブリフト制御値(目標バルブリフトLiftin_cmd)に応じて、バルブリフト可変機構50への制御入力(リフト制御入力Uliftin)を算出する制御入力算出手段(ECU2、バルブリフトコントローラ120、カム位相コントローラ220)をさらに備え、カム位相制御値算出手段およびバルブリフト制御値算出手段の算出周期(制御周期 $\Delta T1$)は、制御入力算出手段の算出周期(制御周期 $\Delta T2$)よりも長く設定されていることを特徴とする。

- [0030] この内燃機関の吸入空気量制御装置によれば、カム位相可変機構への制御入力が、カム位相制御値に応じて算出され、バルブリフト可変機構への制御入力が、バルブリフト制御値に応じて算出されるとともに、カム位相制御値算出手段およびバルブリフト制御値算出手段の算出周期が、これらの算出周期よりも長く設定されている。前述したように、吸入空気量を、カム位相可変機構およびバルブリフト可変機構を介して制御する場合、吸入空気量の応答速度は、両可変機構の応答速度に起因して、比較的、遅くなるのが一般的であるので、例えば、そのような応答速度に合致するように、カム位相制御値算出手段およびバルブリフト制御値算出手段の算出周期を適切に設定することにより、吸入空気量の過渡的変化を精度よく、制御することができる。さらに、制御入力算出手段の算出周期が、カム位相制御値算出手段およびバルブリフト制御値算出手段の算出周期よりも短いので、カム位相可変機構およびバルブリフト可変機構への制御入力を、カム位相制御値およびバルブリフト制御値よりも迅速に算出できることで、吸入空気量制御の安定性を向上させることができるとともに、両可変機構が非線形特性を有している場合でも、吸入空気量制御への影響を抑制することができ、その分、吸入空気量制御の安定性をさらに向上させることができる。

図面の簡単な説明

- [0031] [図1]本願発明の一実施形態に係る吸入空気量制御装置が適用された内燃機関の概略構成を示す模式図である。

[図2]吸入空気量制御装置の概略構成を示すブロック図である。

[図3]内燃機関の可変式吸気動弁機構および排気動弁機構の概略構成を示す断面図である。

[図4]可変式吸気動弁機構のバルブリフト可変機構の概略構成を示す断面図である

。[図5](a)リフトアクチュエータの短アームが最大リフト位置にある状態と(b)最小リフト位置にある状態を示す図である。

[図6]バルブリフト可変機構の下リンクが最大リフト位置にあるときに、(a)吸気弁が閉弁している状態と(b)最大リフトで開弁している状態を示す図である。

[図7]バルブリフト可変機構の下リンクが最小リフト位置にあるときに、(a)吸気弁が閉弁している状態と(b)最大リフトで開弁している状態を示す図である。

[図8]バルブリフト可変機構の下リンクが最大リフト位置にあるときの吸気弁のバルブリフト曲線と最小リフト位置にあるときのバルブリフト曲線を示す図である。

[図9]カム位相可変機構の概略構成を模式的に示す断面図である。

[図10]遊星歯車装置を図9のA-A線に沿う方向から見た模式図である。

[図11]電磁ブレーキを図9のB-B線に沿う方向から見た模式図である。

[図12]カム位相可変機構の動作特性を示す特性曲線である。

[図13]カム位相可変機構のソレノイドの動作特性を示す特性曲線である。

[図14]カム位相可変機構によるカム位相の変更動作例を示す図である。

[図15]バルブリフトのみを変化させた場合の吸入空気量の変化を説明するための図である。

[図16]カム位相のみを変化させた場合の吸入空気量の変化を説明するための図である。

[図17]吸入空気量制御装置の概略構成を示す機能ブロック図である。

[図18]第1ACTASSコントローラの概略構成を示すブロック図である。

[図19]実吸入空気量 G_{cyl} の算出アルゴリズムと、第1ACTASSコントローラにおける目標値フィルタおよびスライディングモードコントローラの制御アルゴリズムと、スライディングモードコントローラの制御アルゴリズムの導出に用いたプラントモデルとを示す図である。

[図20]第1ACTASSコントローラの適応外乱オブザーバの制御アルゴリズムを示す図である。

[図21]第1ACTASSコントローラの制御性を説明するためのタイミングチャートである

。[図22]第2ACTASSコントローラの概略構成を示すブロック図である。

[図23]第2ACTASSコントローラにおける目標値フィルタおよびスライディングモードコントローラの制御アルゴリズムと、スライディングモードコントローラの制御アルゴリズムの導出に用いたプラントモデルとを示す図である。

[図24]第2ACTASSコントローラの適応外乱オブザーバの制御アルゴリズムを示す図である。

[図25]バルブリフトコントローラの概略構成を示すブロック図である。

[図26]バルブリフトコントローラにおける状態予測器の状態予測アルゴリズムおよびその導出式を示す図である。

[図27]バルブリフトコントローラにおけるオンボード同定器の同定アルゴリズムを示す図である。

[図28]バルブリフトコントローラにおける2自由度スライディングモードコントローラの制御アルゴリズムを示す図である。

[図29]カム位相コントローラの概略構成を示すブロック図である。

[図30]カム位相コントローラにおける状態予測器の状態予測アルゴリズムおよびその導出式を示す図である。

[図31]カム位相コントローラにおけるオンボード同定器の同定アルゴリズムを示す図である。

[図32]カム位相コントローラにおける2自由度スライディングモードコントローラの制御アルゴリズムを示す図である。

[図33]エンジン制御処理のうちの主要な制御処理を示すフローチャートである。

[図34]吸入空気量制御処理の内容を示すフローチャートである。

[図35]目標吸入空気量の始動時用値の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図36]目標吸入空気量の触媒暖機用値の算出に用いるマップの一例を示す図である。

[図37]目標吸入空気量の通常運転用値の算出に用いるマップの一例を示す図であ

る。

[図38]リフト&位相制御処理の内容を示すフローチャートである。

[図39]目標バルブリフトの算出処理の内容を示すフローチャートである。

[図40]目標バルブリフトのスレーブ値の算出に用いる加速時用テーブルの一例を示す図である。

[図41]目標バルブリフトのスレーブ値の算出に用いる非加速時用テーブルの一例を示す図である。

[図42]目標カム位相の算出処理の内容を示すフローチャートである。

[図43]目標カム位相のスレーブ値の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図44]リフト制御入力の算出処理の内容を示すフローチャートである。

[図45]リフト制御入力の算出処理において、目標値フィルタ設定パラメータの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図46]位相制御入力の算出処理の内容を示すフローチャートである。

[図47]位相制御入力の算出処理において、目標値フィルタ設定パラメータの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図48]点火時期制御処理の内容を示すフローチャートである。

[図49]点火時期の触媒暖機用値および故障時用値の算出に用いる制御アルゴリズムを示す図である。

[図50]点火時期の通常運転用値の算出に用いるマップの一例を示す図である。

[図51]第1ACTASSコントローラの制御アルゴリズムの変形例を示す図である。

[図52]第2ACTASSコントローラの制御アルゴリズムの変形例を示す図である。

[図53]図51, 52の第1および第2ACTASSコントローラの制御アルゴリズムの変形例により、吸入空気量を制御した場合の制御動作例を示すタイミングチャートである。

発明を実施するための最良の形態

- [0032] 以下、図面を参照しながら、本発明の一実施形態に係る内燃機関の吸入空気量制御装置について説明する。この吸入空気量制御装置1は、図2に示すように、ECU2を備えており、このECU2は、後述するように、内燃機関(以下「エンジン」という)3の運転状態に応じて、吸入空気量制御を含む各種の制御処理を実行する。

- [0033] エンジン3は、図示しない車両に搭載された直列4気筒ガソリンエンジン(1気筒のみ図示)であり、図1および図3に示すように、気筒ごとに設けられ、吸気ポートおよび排気ポートをそれぞれ開閉する吸気弁4および排気弁7と、吸気弁4駆動用の吸気カムシャフト5および吸気カム6と、吸気弁4を開閉駆動する可変式吸気動弁機構40と、排気弁7駆動用の排気カムシャフト8および排気カム9と、排気弁7を開閉駆動する排気動弁機構80などを備えている。
- [0034] 吸気弁4は、そのステム4aがガイド4bに摺動自在に嵌合しており、このガイド4bは、シリンダヘッド3aに固定されている。さらに、吸気弁4は、図4に示すように、上下のスプリングシート4c、4dと、これらの間に設けられたバルブスプリング4eとを備えており、このバルブスプリング4eにより、閉弁方向に付勢されている。
- [0035] また、吸気カムシャフト5および排気カムシャフト8はそれぞれ、図示しないホルダを介して、シリンダヘッド3aに回動自在に取り付けられている。この吸気カムシャフト5上には、スプロケット5a(図9参照)が同軸に配置され、回転自在に設けられている。このスプロケット5aは、図示しないタイミングベルトを介してクランクシャフト3bに連結され、後述するカム位相可変機構70を介して吸気カムシャフト5に連結されている。以上の構成により、吸気カムシャフト5は、クランクシャフト3bが2回転するごとに1回転する。また、吸気カム6は、吸気カムシャフト5上にこれと一体に回転するように気筒ごとに設けられている。
- [0036] さらに、可変式吸気動弁機構40は、吸気カムシャフト5の回転に伴って、各気筒の吸気弁4を開閉駆動するとともに、そのバルブリフトおよびバルブタイミングを変更するものであり、その詳細については、後述する。なお、本実施形態では、「吸気弁4のバルブリフト」は、吸気弁4の最大揚程を表すものとする。
- [0037] 一方、排気弁7は、そのステム7aがガイド7bに摺動自在に嵌合しており、このガイド7bは、シリンダヘッド3aに固定されている。さらに、排気弁7は、上下のスプリングシート7c、7dと、これらの間に設けられたバルブスプリング7eとを備えており、このバルブスプリング7eにより、閉弁方向に付勢されている。
- [0038] また、排気カムシャフト8は、これと一体のスプロケット(図示せず)を備え、このスプロケットおよび図示しないタイミングベルトを介してクランクシャフト3bに連結されてお

り、それにより、クランクシャフト3bが2回転するごとに1回転する。さらに、排気カム9は、排気カムシャフト8上にこれと一体に回転するように気筒ごとに設けられている。

[0039] さらに、排気動弁機構80は、排気ロッカアーム81を備えており、この排気ロッカアーム81が排気カム9の回転に伴って回動することにより、バルブスプリング7eの付勢力に抗しながら、排気弁7を開閉駆動する。

[0040] 一方、エンジン3には、クランク角センサ20および水温センサ21がそれぞれ設けられている。このクランク角センサ20は、クランクシャフト3bの回転に伴い、いずれもパルス信号であるCRK信号およびTDC信号をECU2に出力する。このCRK信号は、所定のクランク角(例えば30deg)ごとに1パルスが出力され、ECU2は、このCRK信号に基づき、エンジン3の回転数(以下「エンジン回転数」という)NEを算出する。また、TDC信号は、各気筒のピストン3cが吸気行程のTDC位置よりも若干、手前の所定のクランク角位置にあることを表す信号であり、所定クランク角ごとに1パルスが出力される。なお、本実施形態では、エンジン回転数NEが負荷パラメータおよび第1負荷パラメータに相当する。

[0041] 一方、水温センサ21は、エンジン本体に取り付けられたサーミスタなどで構成されており、エンジン3のシリンダブロック3d内を循環する冷却水の温度であるエンジン水温TWを検出して、その検出信号をECU2に出力する。

[0042] また、エンジン3の吸気管10には、上流側から順に、エアフローセンサ22、スロットル弁機構11、吸気管内絶対圧センサ23および燃料噴射弁12などが設けられている。

[0043] このエアフローセンサ22(吸入空気量検出手段)は、熱線式エアフローメータで構成されており、後述するスロットル弁11aを通過する吸入空気量(以下「TH通過吸入空気量」という)Gthを表す検出信号をECU2に出力する。

[0044] また、スロットル弁機構11は、スロットル弁11aおよびこれを開閉駆動するTHアクチュエータ11bなどを備えている。スロットル弁11aは、吸気管10の途中に回動自在に設けられており、当該回動に伴う開度の変化によりTH通過吸入空気量Gthを変化させる。THアクチュエータ11bは、ECU2に接続されたモータにギヤ機構(いずれも図示せず)を組み合わせたものであり、ECU2からの制御入力によって駆動されること

により、スロットル弁11aの開度を変化させる。

[0045] ECU2は、通常運転時、スロットル弁11aを全開状態に保持するとともに、可変式吸気動弁機構40の故障時またはマスタバック(図示せず)への負圧供給時には、スロットル弁11aの開度を制御する。

[0046] また、吸気管10のスロットル弁11aよりも下流側の部分は、サージタンク10aになっており、このサージタンク10aに、吸気管内絶対圧センサ23が設けられている。この吸気管内絶対圧センサ23(吸入空気量検出手段)は、例えば半導体圧力センサなどで構成され、吸気管10内の絶対圧(以下「吸気管内絶対圧」という)PBAを表す検出信号をECU2に出力する。

[0047] さらに、燃料噴射弁12は、ECU2からの、燃料噴射量TOUTを表す制御入力によって駆動され、燃料を吸気管10内に噴射する。

[0048] 一方、エンジン3の排気管15には、上流側から順に、第1および第2触媒装置16a, 16bが設けられており、これらの触媒装置16a, 16bにより、排気ガス中のNO_x、HCおよびCOなどが浄化される。

[0049] これらの触媒装置16a, 16bの間に、酸素濃度センサ(以下「O₂センサ」という)25が設けられている。このO₂センサ25は、ジルコニアおよび白金電極などで構成され、第1触媒装置16aの下流側の排気ガス中の酸素濃度に基づく検出信号をECU2に出力する。

[0050] また、排気管15の第1触媒装置16aよりも上流側に、LAFセンサ24が設けられている。このLAFセンサ24は、O₂センサ25と同様のセンサとリニアライザなどの検出回路とを組み合わせることによって構成されており、リッチ領域からリーン領域までの広範囲な空燃比の領域において排気ガス中の酸素濃度をリニアに検出して、その酸素濃度に比例する検出信号をECU2に出力する。ECU2は、これらのLAFセンサ24およびO₂センサ25の検出信号に基づき、空燃比制御を実行する。

[0051] さらに、エンジン3のシリンダヘッド3eには、点火プラグ13(図2参照)が取り付けられている。この点火プラグ13は、ECU2に接続されており、ECU2から点火時期Iglo_gに応じたタイミングで高電圧が加えられることで放電し、それにより、燃焼室内の混合気を燃焼させる。

- [0052] 次に、前述した可変式吸気動弁機構40について説明する。この可変式吸気動弁機構40は、図4に示すように、吸気カムシャフト5、吸気カム6、バルブリフト可変機構50およびカム位相可変機構70などで構成されている。
- [0053] このバルブリフト可変機構50は、吸気カムシャフト5の回転に伴って吸気弁4を開閉駆動するとともに、吸気弁4のバルブリフトLiftinを所定範囲(後述する最大値Liftinmaxと最小値Liftinminとの間の範囲)内で無段階に変更するものであり、気筒ごとに設けられた四節リンク式のロッカアーム機構51と、これらのロッカアーム機構51を同時に駆動するリフトアクチュエータ60などを備えている。
- [0054] 各ロッカアーム機構51は、ロッカアーム52および上下のリンク53、54などで構成されている。この上リンク53の一端部は、上ピン55を介して、ロッカアーム52の上端部に回動自在に取り付けられており、他端部は、ロッカアームシャフト56に回動自在に取り付けられている。このロッカアームシャフト56は、図示しないホルダを介して、シリンダヘッド3aに取り付けられている。
- [0055] また、ロッカアーム52の上ピン55上には、ローラ57が回動自在に設けられている。このローラ57は、吸気カム6のカム面に当接しており、吸気カム6が回転する際、そのカム面に案内されながら吸気カム6上を転動する。これにより、ロッカアーム52は上下方向に駆動されるとともに、上リンク53が、ロッカアームシャフト56を中心として回転する。
- [0056] さらに、ロッカアーム52の吸気弁4側の端部には、アジャストボルト52aが取り付けられている。このアジャストボルト52aは、吸気弁4の閉弁状態では、その下端面と吸気弁4のステム4aの上端面との間に所定のバルブクリアランスを有しているとともに、吸気カム6の回転に伴ってロッカアーム52が上下方向に移動すると、バルブスプリング4eの付勢力に抗しながら、ステム4aを上下方向に駆動し、吸気弁4を開閉する。
- [0057] また、下リンク54の一端部は、下ピン58を介して、ロッカアーム52の下端部に回動自在に取り付けられており、下リンク54の他端部には、連結ピン59が回動自在に取り付けられている。下リンク54は、この連結ピン59を介して、リフトアクチュエータ60の後述する短アーム65に連結されている。
- [0058] 一方、リフトアクチュエータ60は、図5に示すように、モータ61、ナット62、リンク63、

長アーム64および短アーム65などを備えている。このモータ61は、ECU2に接続され(図2参照)、エンジン3のヘッドカバー3eの外側に配置されている。モータ61の回転軸は、雄ねじが形成されたねじ軸61aになっており、このねじ軸61aに、ナット62が螺合している。このナット62は、リンク63を介して、長アーム64に連結されている。このリンク63の一端部は、ピン63aを介して、ナット62に回転自在に取り付けられ、他端部は、ピン63bを介して、長アーム64の一端部に回転自在に取り付けられている。

[0059] また、長アーム64の他端部は、回転軸66を介して短アーム65の一端部に取り付けられている。この回転軸66は、断面円形に形成され、エンジン3のヘッドカバー3eを貫通しているとともに、これに回転自在に支持されている。この回転軸66の回転に伴い、長アーム64および短アーム65はこれと一体に回転する。

[0060] さらに、短アーム65の他端部には、前述した連結ピン59が回転自在に取り付けられており、これにより、短アーム65は、連結ピン59を介して、下リンク54に連結されている。

[0061] 次に、以上のように構成されたバルブリフト可変機構50の動作について説明する。このバルブリフト可変機構50では、ECU2からの後述するリフト制御入力Uliftinがリフトアクチュエータ60のモータ61に入力されると、ねじ軸61aが回転し、それに伴うナット62の移動により、長アーム64および短アーム65が回転軸66を中心として回転するとともに、この短アーム65の回転に伴って、ロッカアーム機構51の下リンク54が、下ピン58を中心として回転する。すなわち、リフトアクチュエータ60により、下リンク54が駆動される。

[0062] その際、ECU2によるフィードバック制御により、短アーム65の回転範囲は、図5(a)に示す最大リフト位置と図5(b)に示す最小リフト位置との間に規制され、それにより、下リンク54の回転範囲も、図4に実線で示す最大リフト位置と、図4に2点鎖線で示す最小リフト位置との間に規制される。

[0063] 下リンク54が最大リフト位置にある場合、ロッカアームシャフト56、上下のピン55、58および連結ピン59によって構成される四節リンクでは、上ピン55および下ピン58の中心間の距離が、ロッカアームシャフト56および連結ピン59の中心間の距離よりも短くなるように構成されており、それにより、図6に示すように、吸気カム6が回転すると、

これとローラ57との当接点の移動量よりも、アジャストボルト52aの移動量の方が大きくなる。

[0064] 一方、下リンク54が最小リフト位置にある場合、上記四節リンクでは、上ピン55および下ピン58の中心間の距離が、ロッカアームシャフト56および連結ピン59の中心間の距離よりも長くなるように構成されており、それにより、図7に示すように、吸気カム6が回転すると、これとローラ57との当接点の移動量よりも、アジャストボルト52aの移動量の方が小さくなる。

[0065] 以上の理由により、吸気弁4は、下リンク54が最大リフト位置にあるときには、最小リフト位置にあるときよりも大きなバルブリフトLiftinで開弁する。具体的には、吸気カム6の回転中、吸気弁4は、下リンク54が最大リフト位置にあるときには、図8の実線で示すバルブリフト曲線に従って開弁し、バルブリフトLiftinは、その最大値Liftinmaxを示す。一方、下リンク54が最小リフト位置にあるときには、2点鎖線で示すバルブリフト曲線に従って開弁し、バルブリフトLiftinは、その最小値Liftinminを示す。なお、図8の横軸は、吸気カムシャフト5の回転角度であるカム角を表している。

[0066] したがって、このバルブリフト可変機構50では、モータ61を介して、下リンク54を最大リフト位置と最小リフト位置との間で回動させることにより、吸気弁4のバルブリフトLiftinを、最大値Liftinmaxと最小値Liftinminとの間で無段階に変化させることができる。なお、同図に示すように、吸気弁4の開弁タイミングは、バルブリフトLiftinが最小値Liftinminを示すときには、最大値Liftinmaxを示すときよりも遅くなる。これは、バルブリフトLiftinが小さいほど、バルブリフト曲線の立ち上がりの勾配がより小さくなるので、バルブクリアランスの影響により、吸気弁4の開き始めがより遅くなることに起因する。

[0067] また、エンジン3には、回動角センサ26が設けられおり(図2参照)、この回動角センサ26は、回動軸66すなわち短アーム65の回動角を検出して、その検出信号をECU2に出力する。ECU2は、この回動角センサ26の検出信号に基づき、吸気弁4のバルブリフトLiftinを算出する。

[0068] 次に、前述したカム位相可変機構70について説明する。このカム位相可変機構70は、電磁式のものであり、以下に述べるように、電磁力Fsolにより、吸気カム6すなわ

ち吸気カムシャフト5のクランクシャフト3bに対する位相(以下「カム位相」という)Cainを、所定範囲(後述する最遅角値Cainrtと最進角値Cainadとの間の範囲)内で無段階に変更することで、吸気弁4のバルブタイミングを無段階に変更するものである。カム位相可変機構70は、図9～図11に示すように、遊星歯車装置71および電磁ブレーキ72などを備えている。

[0069] この遊星歯車装置71は、吸気カムシャフト5およびスプロケット5aの間で回転を伝達するものであり、リングギヤ71a、3つのプラネタリピニオンギヤ71b、サンギヤ71cおよびプラネタリキャリア71dを備えている。このリングギヤ71aは、電磁ブレーキ72の後述するアウトケーシング73に連結されており、これと同軸かつ一体に回転する。また、サンギヤ71cは、吸気カムシャフト5の先端部に同軸かつ一体に回転するように取り付けられている。

[0070] 一方、プラネタリキャリア71dは、その断面がほぼ三角形に形成され、その3つの角部にシャフト71eがそれぞれ突設されている。プラネタリキャリア71dは、これらのシャフト71eを介してスプロケット5aに連結されており、それにより、スプロケット5aと同軸かつ一体に回転するように構成されている。

[0071] また、各プラネタリピニオンギヤ71bは、プラネタリキャリア71dの各シャフト71eに回転自在に支持され、サンギヤ71cとリングギヤ71aの間に配置され、これらと常に噛み合っている。

[0072] さらに、前述した電磁ブレーキ72は、アウトケーシング73、コア74、ソレノイド75およびリターンスプリング76を備えている。アウトケーシング73は、中空に形成され、その内部にコア74が相対的に回転自在に設けられている。コア74は、断面円形の基部74aと、これから放射状に延びる2つのアーム74b、74bを備えている。コア74は、その基部74aがプラネタリキャリア71dに取り付けられており、それにより、プラネタリキャリア71dと同軸かつ一体に回転する。

[0073] 一方、アウトケーシング73の内周面には、最遅角位置および最進角位置の一对のストッパ73a、73bを1組として、計2組のストッパ73a、73bが互いに間隔を存して設けられている。コア74の各アーム74bは、一对のストッパ73a、73b間に配置されており、それにより、コア74は、アーム74bが最遅角位置ストッパ73aに当接し、係止され

る最遅角位置(図11に実線で示す位置)と、最進角位置ストップ73bに当接し、係止される最進角位置(図11に2点鎖線で示す位置)との間で、アウトケーシング73に対して相対的に回動可能に構成されている。

[0074] また、リターンスプリング76は、圧縮された状態で、最進角位置ストップ73bの一つと、これと対向するアーム74bとの間に掛け渡されており、このリターンスプリング76の付勢力により、アーム74bは最遅角位置ストップ73a側に付勢されている。

[0075] 一方、ソレノイド75は、リターンスプリング76と反対側の最進角位置ストップ73bに取り付けられており、この最進角位置ストップ73bの、アーム74bと対向する側の端部に面一の状態で設けられている。このソレノイド75は、ECU2に電気的に接続されており、ECU2からの位相制御入力 U_{cain} (電圧信号)により励磁されると、その電磁力 F_{sol} により、対向するアーム74bを、リターンスプリング76の付勢力に抗しながら吸引し、最進角位置ストップ73b側に回動させる。

[0076] 以上のように構成されたカム位相可変機構70の動作について説明する。このカム位相可変機構70では、電磁ブレーキ72のソレノイド75が励磁されていないときには、コア74は、リターンスプリング76の付勢力により、そのアーム74bが最遅角位置ストップ73aに当接する最遅角位置に保持され、それにより、カム位相 C_{ain} は、最遅角値 C_{ainrt} (図12参照)に保持される。

[0077] その状態で、スプロケット5aが図11の矢印Y1方向に回転すると、プラネタリキャリア71dおよびリングギヤ71aが一体に回転することにより、プラネタリピニオンギヤ71bが回転せず、サンギヤ71cがプラネタリキャリア71dおよびリングギヤ71aと一体に回転する。すなわち、スプロケット5aと吸気カムシャフト5が一体に回転する。

[0078] また、コア74が最遅角位置に保持されている状態で、ソレノイド75がECU2からの位相制御入力 U_{cain} により励磁されると、ソレノイド75の電磁力 F_{sol} により、コア74のアーム74bが、リターンスプリング76の付勢力に抗しながら、最進角位置ストップ73b側すなわち最進角位置側に吸引され、電磁力 F_{sol} とリターンスプリング76の付勢力とが釣り合う位置まで回動する。言い換えれば、アウトケーシング73が、コア74に対して相対的に矢印Y1と逆方向に回動する。

[0079] これにより、リングギヤ71aがプラネタリキャリア71dに対して相対的に図10の矢印Y

2方向に回転し、それに伴い、プラネタリピニオンギヤ71bが図10の矢印Y3方向に回転することで、サンギヤ71cが図10の矢印Y4方向に回転する。その結果、吸気カムシャフト5が、スプロケット5aに対して相対的にスプロケットの回転方向(すなわち図10の矢印Y2と逆方向)に回転することになり、カム位相Cainが進角される。

[0080] この場合、アウトケーシング73の回転がリングギヤ71a、プラネタリピニオンギヤ71bおよびサンギヤ71cを介して、吸気カムシャフト5に伝達されるので、遊星歯車装置71の増速作用により、吸気カムシャフト5は、スプロケット5aに対してアウトケーシング73の回転角度が増幅された角度分、回転することになる。すなわち、吸気カム6のカム位相Cainの進角量は、アウトケーシング73の回転角度を増幅した値になるように設定されている。これは、ソレノイド75の電磁力Fsolが作用可能な距離には限界があるので、それを補償し、カム位相Cainをより広範囲で変化させるためである。

[0081] 以上のカム位相可変機構70の動作中、図12に示すように、カム位相Cainは、ソレノイド75への位相制御入力Ucainにより、最遅角値Cainrt(0°)と最進角値Cainad(例えば 55°)の間で連続的に変化するとともに、位相制御入力Ucainが増大する方向のときのカム位相Cainの値を示す実線の曲線と、位相制御入力Ucainが減少する方向のときのカム位相Cainの値を示す破線の曲線とが互いに異なる、いわゆるヒステリシス特性を示す。これは、図13に示すように、ソレノイド75が、位相制御入力Ucainにより励磁され、電磁力Fsolを発生する際、起動時の電磁力Fsolの立ち上がりが遅いという特性を備えていることに起因する。

[0082] また、以上のように、カム位相Cainが最遅角値Cainrtと最進角値Cainadの間で変更されることにより、吸気弁4のバルブタイミングは、図14に実線で示す最遅角タイミングと、図14に2点鎖線で示す最進角タイミングとの間で、無段階に変更される。

[0083] なお、本実施形態において、以上のようなカム位相可変機構70を、従来の油圧駆動式のカム位相可変機構に代えて用いた理由は、以下による。すなわち、従来の油圧駆動式のカム位相可変機構は、油圧ポンプなどの起動により油圧が立ち上がり、カム位相Cainを制御可能になるまでに時間を要するとともに、油温が極低温のときには、応答性が悪化してしまう特性を有し、むだ時間が大きく、応答性が低いという欠点を備えている。これに対して、本実施形態のカム位相可変機構70は、油圧の立ち上

がりを待つ必要がなく、油温の影響を受けることがなく、起動時からカム位相Cainを適切に制御できるとともに、むだ時間がより小さく、より高い応答性を確保できるという利点を備えていることによる。

- [0084] 以上のように、本実施形態の可変式吸気動弁機構40では、バルブリフト可変機構50により、吸気弁4のバルブリフトLiftinが無段階に変更されるとともに、カム位相可変機構70により、カム位相Cainすなわち吸気弁4のバルブタイミングが無段階に変更される。また、ECU2により、後述するように、バルブリフト可変機構50およびカム位相可変機構70を介して、バルブリフトLiftinおよびカム位相Cainがそれぞれ制御される。その際、例えば、バルブリフトLiftinが最大値Liftinmaxに制御され、かつカム位相Cainが最遅角値Cainrtに制御されているときでも、吸気弁4を吸気行程のTDC位置よりも前のタイミングで開弁させるように、可変式吸気動弁機構40は構成されている。
- [0085] 一方、吸気カムシャフト5のカム位相可変機構70と反対側の端部には、カム角センサ27(図2参照)が設けられている。このカム角センサ27は、例えばマグネットロータおよびMREピックアップで構成されており、吸気カムシャフト5の回転に伴い、パルス信号であるCAM信号を所定のカム角(例えば1°)ごとにECU2に出力する。ECU2は、このCAM信号および前述したCRK信号に基づき、カム位相Cainを算出する。
- [0086] さらに、図2に示すように、ECU2には、アクセル開度センサ28およびイグニッション・スイッチ(以下「IG・SW」という)29が接続されている。このアクセル開度センサ28は、図示しないアクセルペダルの開度(以下「アクセル開度」という)APを検出して、その検出信号をECU2に出力する。また、IG・SW29は、イグニッションキー(図示せず)操作によりON/OFFされるとともに、そのON/OFF状態を表す信号をECU2に出力する。なお、本実施形態では、アクセル開度APが負荷パラメータおよび第1負荷パラメータに相当する。
- [0087] ECU2は、I/Oインターフェース、CPU、RAMおよびROMなどからなるマイクロコンピュータで構成されており、前述した各種のセンサ20~28の検出信号およびIG・SW29のON/OFF信号などに応じて、エンジン3の運転状態を判別するとともに、吸入空気量を制御する。具体的には、後述するように、バルブリフト可変機構50およ

びカム位相可変機構70を介して、バルブリフトLiftinおよびカム位相Cainをそれぞれ制御することにより、吸入空気量が制御される。

[0088] 一般に、吸入空気量制御では、バルブリフトLiftinを制御したときの方が、カム位相Cainを制御したときよりも、高い応答性を確保できる。言い換えれば、カム位相Cainを制御したときの方が、バルブリフトLiftinを制御したときよりも、吸入空気量を微少な変化量できめ細かく制御でき、高い制御精度を確保できる。これは、以下の理由による。

[0089] すなわち、図15(a)～(c)に示すように、バルブリフトLiftinのみを変化させると、同図のハッチング部分の面積は、バルブリフトLiftinの減少に伴って、2次元的に減少する。その際、吸入空気量は、このハッチング部の面積に比例して変化するので、バルブリフトLiftinの増減により、吸入空気量を急激に増減させることができ、高い応答性を確保できることが判る。

[0090] 一方、図16(a)～(c)に示すように、カム位相Cainのみを変化させると、同図のハッチング部分の面積は、カム位相Cainの進角に伴って、ほぼ1次元的に変化する。この傾向は、バルブリフトLiftinが極めて小さい状態では顕著となる。その際、上述したように、吸入空気量は、同図のハッチング部分の面積に比例して変化するので、カム位相Cainの進角・遅角により、吸入空気量を微少な変化量できめ細かく増減させることができ、高い制御精度を確保できることが判る。

[0091] したがって、本実施形態の吸入空気量制御では、上述した理由により、バルブリフト制御およびカム位相制御の一方を、マスタ側とし、他方をスレーブ側とするマスタ・スレーブ制御が後述するように実行される。すなわち、吸入空気量制御において、エンジン3の高負荷運転時などの高い応答性が要求されるときには、バルブリフト制御がマスタ側に、カム位相制御がスレーブ側にそれぞれ設定されるとともに、低負荷運転時などの高い制御精度が要求されるときには、バルブリフト制御がスレーブ側に、カム位相制御がマスタ側にそれぞれ設定される。

[0092] なお、以下の説明では、バルブリフト制御がマスタ側で、カム位相制御がスレーブ側に設定されている制御モードを、「リフトマスタモード」と表記し、バルブリフト制御がスレーブ側で、カム位相制御がマスタ側に設定されている制御モードを、「位相マスタ

モード」と表記する。

[0093] また、本実施形態では、ECU2により、目標吸入空気量設定手段、吸入空気量検出手段、第1制御値算出手段、第2制御値算出手段、制御入力算出手段、第1制御手段、第2制御手段、制御選択手段、負荷域判定手段、第2負荷パラメータ設定手段、カム位相制御値算出手段およびバルブリフト制御値算出手段が構成されている。

[0094] 次に、図17を参照しながら、本実施形態の吸入空気量制御装置1について説明する。同図に示すように、吸入空気量制御装置1は、目標吸入空気量算出部90、第1ACTASSコントローラ100、第1スレーブ値算出部110、目標バルブリフト算出部111、バルブリフトコントローラ120、第2ACTASSコントローラ200、第2スレーブ値算出部210、目標カム位相算出部211、カム位相コントローラ220、およびマスタ・スレーブ選択部230を備えており、これらはいずれも、具体的には、ECU2により構成されている。

[0095] この吸入空気量制御装置1では、以下に述べるように、リフト制御入力 U_{liftin} および位相制御入力 U_{cain} が算出されるとともに、これらの制御入力 U_{liftin} 、 U_{cain} がそれぞれ、バルブリフト可変機構50およびカム位相可変機構70に入力されることにより、実吸入空気量 G_{cyl} が目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} に収束するように制御される。

[0096] この実吸入空気量 G_{cyl} は、気筒内に実際に吸入されたと推定される吸入空気量であり、具体的には、図19の式(1)により算出される。同式(1)において、 V_B は吸気管内体積を、 R は所定の気体定数をそれぞれ表している。また、同式(1)において、記号 (k) 付きの各離散データは、所定の制御周期 ΔT_1 に同期してサンプリング(または算出)されたデータであることを示しており、記号 k は各離散データのサンプリングサイクルの順番を表している。例えば、記号 k は今回の制御タイミングでサンプリングされた値であることを、記号 $k-1$ は前回の制御タイミングでサンプリングされた値であることをそれぞれ示している。この点は、以下の離散データにおいても同様である。なお、以下の説明では、各離散データにおける記号 (k) などを適宜、省略する。

[0097] また、制御周期 ΔT_1 は、吸入空気量の動特性を後述するプラントモデル[式(8)],

(22)]に適切に反映することができるような所定の値(例えば10msec)に設定されている。さらに、本実施形態では、制御周期 $\Delta T1$ は、第1および第2制御値算出手段の算出周期に相当する。

[0098] この吸入空気量制御装置1では、まず、目標吸入空気量算出部90(目標吸入空気量設定手段)により、アクセル開度AP、エンジン回転数NEおよびエンジン水温TWなどに応じて、目標吸入空気量Gcyl_cmdが算出される。

[0099] 次に、第1ACTASSコントローラ100(第1制御値算出手段、第1制御手段)において、後述する制御アルゴリズムにより、目標吸入空気量Gcyl_cmdに応じて、目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msが算出されるとともに、第1スレーブ値算出部110(第2制御値算出手段、第1制御手段)において、後述するテーブル検索により、目標カム位相Cain_cmdに応じて、目標バルブリフトのスレーブ値Liftin_cmd_slが算出される。

[0100] さらに、目標バルブリフト算出部111により、目標バルブリフトLiftin_cmdが、そのマスタ値Liftin_cmd_msとスレーブ値Liftin_cmd_slの和として算出される。そして、バルブリフトコントローラ120(制御入力算出手段)において、後述する制御アルゴリズムにより、目標バルブリフトLiftin_cmdおよびバルブリフトLiftinに応じて、バルブリフト可変機構50への制御入力であるリフト制御入力Uliftinが算出される。

[0101] 一方、第2ACTASSコントローラ200(第1制御値算出手段、第2制御手段)において、後述する制御アルゴリズムにより、目標吸入空気量Gcyl_cmdに応じて、目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msが算出されるとともに、第2スレーブ値算出部210(第2制御値算出手段、第2制御手段)において、後述するテーブル検索により、目標バルブリフトLiftin_cmdに応じて、目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_slが算出される。

[0102] さらに、目標カム位相算出部211により、目標カム位相Cain_cmdが、そのマスタ値Cain_cmd_msとスレーブ値Cain_cmd_slの和として算出される。そして、カム位相コントローラ220(制御入力算出手段)において、後述する制御アルゴリズムにより、目標カム位相Cain_cmdおよびカム位相Cainに応じて、カム位相可変機構70への制御入力である位相制御入力Ucainが算出される。

- [0103] また、マスタ・スレーブ選択部230(制御選択手段)により、後述するように、目標バルブリフトLiftin_cmdまたは目標カム位相Cain_cmdに基づき、第1ACTASSコントローラ100における目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msの算出アルゴリズムが選択されるとともに、第2ACTASSコントローラ200における目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msの算出アルゴリズムが選択される。
- [0104] なお、本実施形態では、目標カム位相Cain_cmdが、第1制御値、第2制御値、第2負荷パラメータ、カム位相制御の状態を表すパラメータおよびカム位相制御値に相当する。また、目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msが、フィードバック制御値およびカム位相フィードバック制御値に相当し、目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_slが、第2制御値およびカム位相設定値に相当する。
- [0105] さらに、目標バルブリフトLiftin_cmdが、第1制御値、第2制御値、第2負荷パラメータ、バルブリフト制御の状態を表すパラメータおよびバルブリフト制御値に相当する。また、目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msが、フィードバック制御値およびバルブリフトフィードバック制御値に相当し、目標バルブリフトのスレーブ値Liftin_cmd_slが、第2制御値およびバルブリフト設定値に相当する。
- [0106] 次に、図18を参照しながら、前述した第1ACTASSコントローラ100について説明する。この第1ACTASSコントローラ100は、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズム[図19に示す式(2)～(7)]により、目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msを算出するものであり、目標値フィルタ101、スライディングモードコントローラ102および適応外乱オブザーバ108を備えている。
- [0107] この目標値フィルタ101では、図19の式(2)に示す一次遅れフィルタアルゴリズムにより、目標吸入空気量のフィルタ値Gcyl_cmd_fが算出される。同式(2)において、POLE_fは、目標値フィルタ設定パラメータであり、 $-1 < \text{POLE_f} < 0$ の関係が成立する値に設定される。
- [0108] 次に、スライディングモードコントローラ102について説明する。このスライディングモードコントローラ102は、以下に述べるスライディングモード制御アルゴリズムにより、目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msを算出するものであり、等価制御入力算出部103、追従誤差算出部104、切換関数算出部105、到達則入力算出部10

6およびマスタ値算出部107を備えている。

- [0109] まず、等価制御入力算出部103では、図19の式(4)により、等価制御入力 U_{eq} が算出される。同式(4)において、 $POLE$ は、後述する切換関数設定パラメータであり、 a_1 , a_2 , b_1 , b_2 は、後述するモデルのモデルパラメータであり、 c_1 は、適応外乱オブザーバ108により、後述するように算出される外乱推定値を表している。
- [0110] また、追従誤差算出部104では、図19の式(7)により、追従誤差 E_{gc} が算出され、切換関数算出部105では、図19の式(6)により、切換関数 σ が算出される。同式(6)において、切換関数設定パラメータ $POLE$ は、 $-1 < POLE < 0$ の関係が成立する値に設定される。
- [0111] さらに、到達則入力算出部106では、図19の式(5)により、到達則入力 U_{rch} が算出される。同式(5)において、 K_{rch} は、到達則ゲインであり、所定値に設定される。そして、マスタ値算出部107において、式(3)により、目標バルブリフトのマスタ値 $Liftin_cmd_ms$ が算出される。
- [0112] 以上のように、スライディングモードコントローラ102では、図19の式(3)～(7)のスライディングモード制御アルゴリズムにより、目標バルブリフトのマスタ値 $Liftin_cmd_ms$ が算出される。なお、これらの式(3)～(7)は、以下のように導出される。
- [0113] まず、プラント112(図18参照)を、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ を入力とし、実吸入空気量 G_{cyl} を出力とする系として定義するとともに、離散時間系モデルとしてモデル化すると、図19に示す式(8)が得られる。同式(8)において、 a_1 , a_2 , b_1 , b_2 は、モデルパラメータを示しており、これらは所定値に設定されている。
- [0114] 同式(8)は、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ と実吸入空気量 G_{cyl} との間の動特性の関係を表しているが、両者の動特性の関係と、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ のフィードバック成分であるマスタ値 $Liftin_cmd_ms$ と、実吸入空気量 G_{cyl} との動特性の関係は、実質的に同じと考えられるので、同式(8)の目標バルブリフト $Liftin_cmd$ を、目標バルブリフトのマスタ値 $Liftin_cmd_ms$ に置き換えると、図19の式(9)のモデルが導出される。さらに、このモデルに基づき、実吸入空気量 G_{cyl} が目標吸入空気量のフィルタ値 $G_{cyl_cmd_f}$ に収束するように、スライディングモード制御アルゴリズムを適用すると、前述した図19の式(3)～(7)が導出される。

- [0115] 一方、適応外乱オブザーバ108では、以下に述べるように、外乱推定値 $c1$ が算出されるとともに、その算出アルゴリズムが、前述したマスタ・スレーブ選択部230により、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ または目標カム位相 $Cain_cmd$ に基づいて選択される。
- [0116] すなわち、前述したように、吸入空気量制御において、リフトマスタモードのときには、外乱推定値 $c1$ が、図20の式(10)～(14)の同定アルゴリズムにより算出される。同式(10)において、 $Pdov$ は所定の同定ゲインを、 e_dov は同定誤差をそれぞれ表している。この同定誤差 e_dov は、式(11)により算出される。また、同式(11)の $Gcyl_hat$ は、実吸入空気量 $Gcyl$ の同定値であり、式(12)により算出される。同式(12)の θ は、その転置行列が式(13)のように表されるベクトルであり、 ξ は、その転置行列が式(14)のように表されるベクトルである。
- [0117] 一方、位相マスタモードのときには、図20の式(15)により、外乱推定値 $c1$ が算出される。同式(15)を参照すると明らかなように、この式(15)で算出された外乱推定値 $c1$ を、前述した式(4)に適用すると、 $Ueq = -Urch$ となり、その結果、バルブリフト制御でのフィードバック成分である目標バルブリフトのマスタ値 $Liftin_cmd_ms$ が値0となる。すなわち、位相マスタモードのときには、 $Liftin_cmd = Liftin_cmd_sl$ となる。
- [0118] 以上のように、第1ACTASSコントローラ100では、目標バルブリフトのマスタ値 $Liftin_cmd_ms$ が、吸入空気量の制御モードがリフトマスタモードのときには、リフトマスタモード用アルゴリズム[式(2)～(7)，(10)～(14)]で算出され、位相マスタモードでは、位相マスタモード用アルゴリズム[式(2)～(7)，(15)]で算出される。
- [0119] このように、目標バルブリフトのマスタ値 $Liftin_cmd_ms$ がリフトマスタモード用アルゴリズムで算出されたときには、上述したフィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、実吸入空気量 $Gcyl$ の目標吸入空気量 $Gcyl_cmd$ への追従性、および外乱抑制能力をいずれも高いレベルで確保できる。特に、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE_f$ を、 $-1 < POLE_f < 0$ の範囲内で任意に設定することにより、追従性を自在に指定できるとともに、切換関数設定パラメータ $POLE$ を、 $-1 < POLE < 0$ の範囲内で任意に設定することにより、外乱抑制能力を自在に

指定することができる。

[0120] これを図21を参照しながら具体的に説明すると、同図の実吸入空気量 G_{cyl} を表す曲線において、実線で示す曲線は、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE_f$ および切換関数設定パラメータ $POLE$ をいずれも値0に近い値に設定した場合のものを示しており、2点鎖線で示す曲線は、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE_f$ および切換関数設定パラメータ $POLE$ をいずれも値-1に近い値に設定した場合のものを示している。

[0121] 同図において、目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} が値0から変化した以降(時刻 t_1 以降)における2つの曲線を比較すると、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE_f$ を値0に近い値に設定したときの方が、値-1に近い値に設定したときよりも、実吸入空気量 G_{cyl} の目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} への追従性が向上することが判る。また、外乱が加えられた以降(時刻 t_2 以降)の2つの曲線を比較すると、切換関数設定パラメータ $POLE$ を値0に近い値に設定したときの方が、値-1に近い値に設定したときよりも、外乱抑制能力が向上することが判る。

[0122] 以上のように、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE_f$ を前述した範囲内で値0に近い値に設定することにより、追従性を向上させることができるとともに、切換関数設定パラメータ $POLE$ を、前述した範囲内で値0に近い値に設定することにより、外乱抑制能力を向上させることができる。すなわち、エンジン3の要求トルクが急変した際でも、吸入空気量制御でのオーバーシュートおよび振動的な挙動を回避できる。さらに、2自由度スライディングモード制御アルゴリズムを用いているので、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE_f$ および切換関数設定パラメータ $POLE$ を互いに別個に設定できる。それにより、例えば、オーバーシュートを回避すべく、実吸入空気量 G_{cyl} の目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} への追従性(収束速度)を緩やかに設定した場合でも、高い外乱抑制能力を確保することができる。

[0123] 次に、図22を参照しながら、前述した第2ACTASSコントローラ200について説明する。この第2ACTASSコントローラ200は、前述した第1ACTASSコントローラ100と同様に、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズム[図23に示す式(16)~(21)]により、目標カム位相のマスタ値 $C_{ain_cmd_ms}$ を算出する

ものであり、目標値フィルタ201、スライディングモードコントローラ202および適応外乱オブザーバ208を備えている。

- [0124] この目標値フィルタ201では、図23の式(16)により、すなわち前述した式(2)と同じ1次遅れフィルタアルゴリズムにより、目標吸入空気量のフィルタ値 $G_{cyl_cmd_f}$ が算出される。
- [0125] 次に、スライディングモードコントローラ202について説明する。このスライディングモードコントローラ202は、前述したスライディングモードコントローラ102と同様に、以下に述べるスライディングモード制御アルゴリズムにより、目標カム位相のマスタ値 $C_{ain_cmd_ms}$ を算出するものであり、等価制御入力算出部203、追従誤差算出部204、切換関数算出部205、到達則入力算出部206およびマスタ値算出部207を備えている。
- [0126] まず、等価制御入力算出部203では、図23の式(18)により、等価制御入力 U_{eq}' が算出される。同式(18)において、 $POLE'$ は、後述する切換関数設定パラメータであり、 a_1' 、 a_2' 、 b_1' 、 b_2' は、後述するモデルのモデルパラメータであり、 c_1' は、適応外乱オブザーバ208により、後述するように算出される外乱推定値を表している。
- [0127] また、追従誤差算出部204では、図23の式(21)すなわち前述した式(7)と同じ式により、追従誤差 E_{gc} が算出され、切換関数算出部205では、図23の式(20)により、切換関数 σ' が算出される。同式(20)において、切換関数設定パラメータ $POLE'$ は、 $-1 < POLE' < 0$ の関係が成立する値に設定される。
- [0128] さらに、到達則入力算出部206では、図23の式(19)により、到達則入力 U_{rch}' が算出される。同式(19)において、 K_{rch}' は、到達則ゲインを表しており、所定値に設定される。そして、マスタ値算出部207において、式(17)により、目標カム位相のマスタ値 $C_{ain_cmd_ms}$ が算出される。
- [0129] 以上のように、スライディングモードコントローラ202では、図23の式(17)～(21)のスライディングモード制御アルゴリズムにより、目標カム位相のマスタ値 $C_{ain_cmd_ms}$ が算出される。これらの式(17)～(21)は、以下のように導出される。
- [0130] まず、プラント212(図22参照)を、目標カム位相 C_{ain_cmd} を入力とし、実吸入空気量 G_{cyl} を出力とする系として定義するとともに、離散時間系モデルとしてモデル化

すると、図23に示す式(22)が得られる。同式(22)において、 $a1'$ 、 $a2'$ 、 $b1'$ 、 $b2'$ は、モデルパラメータを示しており、これらは所定値に設定されている。

[0131] 同式(22)の目標カム位相 $Cain_cmd$ を、目標カム位相のマスタ値 $Cain_cmd_ms$ に置き換えると、図23の式(23)のモデルが導出される。さらに、このモデルに基づき、実吸入空気量 $Gcyl$ が目標吸入空気量のフィルタ値 $Gcyl_cmd_f$ に収束するように、スライディングモード制御アルゴリズムを適用すると、前述した式(17)～(21)が導出される。

[0132] 一方、適応外乱オブザーバ208では、以下に述べるように、外乱推定値 $c1'$ が算出されるとともに、その算出アルゴリズムが、前述したマスタ・スレーブ選択部230により、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ または目標カム位相 $Cain_cmd$ に基づいて選択される。

[0133] すなわち、吸入空気量制御において、位相マスタモードのときには、外乱推定値 $c1'$ が、図24の式(24)～(28)の同定アルゴリズムにより算出される。同式(25)において、 $Pdov'$ は所定の同定ゲインを、 e_dov' は、同定誤差をそれぞれ表している。この同定誤差 e_dov' は、式(25)により算出される。また、同式(25)の $Gcyl_hat'$ は、実吸入空気量 $Gcyl$ の同定値であり、式(26)により算出される。同式(26)の θ' は、その転置行列が式(27)のように表されるベクトルであり、 ξ' は、その転置行列が式(28)のように表されるベクトルである。

[0134] 一方、リフトマスタモードのときには、図24の式(29)により、外乱推定値 $c1'$ が算出される。同式(29)を参照すると明らかなように、この式(29)で算出された外乱推定値 $c1'$ を、前述した式(18)に適用すると、 $Ueq' = -Urch'$ となり、その結果、カム位相制御でのフィードバック成分である目標カム位相のマスタ値 $Cain_cmd_ms$ が値0となる。すなわち、リフトマスタモードのときには、 $Cain_cmd = Cain_cmd_sl$ となる。

[0135] 以上のように、第2ACTASSコントローラ200では、目標カム位相のマスタ値 $Cain_cmd_ms$ が、吸入空気量の制御モードが位相マスタモードのときには、位相マスタモード用アルゴリズム[式(16)～(21)，(24)～(28)]で算出され、リフトマスタモードでは、リフトマスタモード用アルゴリズム[式(16)～(21)，(29)]で算出される。

- [0136] このように、目標カム位相のマスタ値 $C_{ain_cmd_ms}$ が、位相マスタモード用アルゴリズムで算出されたときには、上述したフィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、実吸入空気量 G_{cyl} の目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} への追従性、および外乱抑制能力をいずれも高いレベルで確保できる。特に、前述したように、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE_f$ を、 $-1 < POLE_f < 0$ の範囲内で任意に設定することにより、追従性を自在に指定することができるとともに、切換関数設定パラメータ $POLE'$ を、 $-1 < POLE' < 0$ の範囲内で任意に設定することにより、外乱抑制能力を自在に指定することができる。
- [0137] 次に、前述したバルブリフトコントローラ120について説明する。このバルブリフトコントローラ120は、以下に述べる制御アルゴリズムにより、バルブリフト $Liftin$ を目標バルブリフト $Liftin_cmd$ に収束させるように、リフト制御入力 U_{liftin} を算出するものであり、図25に示すように、状態予測器121、オンボード同定器122および2自由度スライディングモードコントローラ123で構成されている。
- [0138] この状態予測器121では、以下に述べる予測アルゴリズムにより、バルブリフト $Liftin$ の予測値である予測バルブリフト Pre_Liftin が算出される。
- [0139] 具体的には、プラントモデルとして、図26に示す式(30)を用いる。同式(30)において、 dx はプラントの特性によって決まるむだ時間を表している。また、 a_1'' , a_2'' , b_1'' , b_2'' はモデルパラメータを表しており、オンボード同定器122により、後述するように逐次同定される。さらに、記号 n は離散化した時間を表し、記号 (n) の付いた各離散データは、前述した記号 (k) 付きの離散データよりも短い所定の制御周期 ΔT_2 (例えば2msec)に同期してサンプリングされたデータであることを示している。この点は、以下の他の離散データにおいても同様であり、また、以下の説明では、離散データであることを表す記号 (n) を適宜、省略する。なお、本実施形態では、制御周期 ΔT_2 は、制御入力算出手段の算出周期に相当する。
- [0140] 次に、マトリクス A , B を、モデルパラメータ a_1'' , a_2'' , b_1'' , b_2'' を用いて図26に示す式(31), (32)のように定義するとともに、上記式(30)を変形することにより、図26に示す式(33)が得られる。
- [0141] この式(33)を用いることで、予測バルブリフト Pre_Liftin を算出することは可能で

あるけれども、モデル次数の不足や制御対象の非線形特性などに起因して、予測バルブリフト Pre_Liftin に定常偏差およびモデル化誤差が生じる可能性がある。

- [0142] これを回避するために、本実施形態の状態予測器121では、式(33)に代えて、図26に示す式(34)により、予測バルブリフト Pre_Liftin を算出する。この式(34)は、式(33)の右辺に、定常偏差およびモデル化誤差を補償するための補償値 γ_1 を加入するとともに、左辺の $Liftin$ を Pre_Liftin に置き換えたものである。
- [0143] 次に、オンボード同定器122について説明する。このオンボード同定器122は、以下に述べる逐次型同定アルゴリズムにより、前述した式(34)におけるモデルパラメータの行列成分 α_1 , α_2 , β_j および補償値 γ_1 のベクトル θ_x を同定するものである。
- [0144] 具体的には、図27に示す式(35)～(40)により、ベクトル θ_x を算出する。このベクトル θ_x は、その転置行列が同図の式(39)のように定義される。また、式(35)において、 KP はゲイン係数のベクトルを表しており、このゲイン係数のベクトル KP は、式(36)により算出される。この式(36)の P は、式(37)で定義される $dx+4$ 次の正方行列であり、 ξ_x は、その転置行列が式(40)のように定義されるベクトルである。さらに、式(35)の同定誤差 ide は、式(38)により算出される。
- [0145] 以上のような同定アルゴリズムでは、式(37)の重みパラメータ λ_1 , λ_2 の設定により、以下の4つの同定アルゴリズムのうちの1つが選択される。

すなわち、

$\lambda_1=1$, $\lambda_2=0$; 固定ゲインアルゴリズム

$\lambda_1=1$, $\lambda_2=1$; 最小2乗法アルゴリズム

$\lambda_1=1$, $\lambda_2=\lambda$; 漸減ゲインアルゴリズム

$\lambda_1=\lambda$, $\lambda_2=1$; 重み付き最小2乗法アルゴリズム

ただし、 λ は、 $0 < \lambda < 1$ に設定される所定値。

なお、本実施形態では、同定精度およびベクトル θ_x の最適値への収束速度をいづれも最適に確保するために、重み付き最小2乗法アルゴリズムが採用されている。

- [0146] 次に、2自由度スライディングモードコントローラ(以下「TDFSLDコントローラ」という)123について説明する。このTDFSLDコントローラ123では、以下に述べるように、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、バルブリフ

トLiftinが目標バルブリフトLiftin_cmdに収束するように、リフト制御入力Uliftinが算出される。

- [0147] 具体的には、前述した式(30)のプラントモデルに基づき、前記第1ACTASSコントローラ100と同様に、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムを適用すると、図28に示す式(41)～(46)が導出される。同図の式(41)において、Liftin_cmd_fは、目標バルブリフトのフィルタ値を表しており、POLE_f'は、目標値フィルタ設定パラメータであり、 $-1 < \text{POLE}_f' < 0$ の関係が成立する値に設定される。
- [0148] また、等価制御入力Ueq''は、式(43)により算出される。同式(43)において、POLE''は、切換関数設定パラメータであり、 $-1 < \text{POLE}'' < 0$ の関係が成立する値に設定される。
- [0149] さらに、到達則入力Urch''は、式(44)により算出される。同式(44)において、Krch''は、所定の到達則ゲインであり、Pre_σ''は、式(45)により算出される予測切換関数である。また、同式(45)のPre_E_lfは、追従誤差であり、式(46)により算出される。
- [0150] 以上のように、このバルブリフトコントローラ120では、状態予測器121において、補償値γ1を加えた状態予測アルゴリズムにより、予測バルブリフトPre_Liftinが算出されるとともに、この補償値γ1がオンボード同定器122により逐次同定されるので、前述した定常偏差およびモデル化誤差を補償しながら、予測バルブリフトPre_Liftinを精度よく算出することができる。
- [0151] また、TDFSLDコントローラ123においては、バルブリフトLiftinを目標バルブリフトLiftin_cmdに収束させることができると同時に、前述したように、その収束挙動および収束速度を、切換関数設定パラメータPOLE''の設定により任意に指定することができる。さらに、補償値γ1が等価制御入力Ueq''の算出式(43)に含まれていることにより、外乱抑制能力も向上させることができる。
- [0152] なお、第1ACTASSコントローラ100およびバルブリフトコントローラ120における切換関数設定パラメータPOLE, POLE''は、 $-1 < \text{POLE} < \text{POLE}'' < 0$ の関係が成立する値に設定される。これにより、バルブリフトコントローラ120による制御の速応

性を、第1ACTASSコントローラ100による制御よりも高めることができ、吸入空気量制御の安定性すなわち制御性を向上させることができる。

[0153] さらに、バルブリフトコントローラ120では、前述した制御周期 $\Delta T2$ に同期してサンプリングされたデータを用いることにより、リフト制御入力 U_{liftin} が算出される。すなわち、リフト制御入力 U_{liftin} は、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ の算出周期(すなわち制御周期 $\Delta T1$)よりも短い周期 $\Delta T2$ で算出される。これにより、バルブリフトコントローラ120の制御による、バルブリフト $Liftin$ の目標バルブリフト $Liftin_cmd$ への収束速度を、第1ACTASSコントローラ100の制御による、実吸入空気量 G_{cyl} の目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} への収束速度よりも早めることができ、その結果、吸入空気量制御の安定性すなわち制御性をさらに向上させることができる。

[0154] 次に、前述したカム位相コントローラ220について説明する。このカム位相コントローラ220は、前述したバルブリフトコントローラ120と同様に、以下に述べる制御アルゴリズムにより、カム位相 $Cain$ を目標カム位相 $Cain_cmd$ に収束させるように、位相制御入力 U_{cain} を算出するものであり、図29に示すように、状態予測器221、オンボード同定器222および2自由度スライディングモードコントローラ223で構成されている。

[0155] この状態予測器221では、前述した状態予測器121と同様の予測アルゴリズム、すなわち図30の式(51)により、カム位相 $Cain$ の予測値である予測カム位相 Pre_Cain が算出される。この式(51)は、以下のように導出される。すなわち、プラントモデルとして、図30に示す式(47)を用いる。同式(47)において、 dy はプラントの特性によって決まるむだ時間を表している。また、 $a1*$ 、 $a2*$ 、 $b1*$ 、 $b2*$ はモデルパラメータを表しており、オンボード同定器222により、後述するように逐次同定される。

[0156] 次に、マトリクス A 、 B を、モデルパラメータ $a1*$ 、 $a2*$ 、 $b1*$ 、 $b2*$ を用いて図30に示す式(48)、(49)のように定義するとともに、上記式(47)を変形することにより、図30に示す式(50)が得られる。さらに、この式(50)の右辺に、前述したように、定常偏差およびモデル化誤差を補償するための補償値 $\gamma 1*$ を加入するとともに、左辺の $Cain$ を Pre_Cain に置き換えることにより、図30の式(51)が導出される。

[0157] 次に、オンボード同定器222について説明する。このオンボード同定器222では、

前述したオンボード同定器122と同様の逐次型同定アルゴリズムにより、上記式(51)におけるモデルパラメータの行列成分 $\alpha 1^*$ 、 $\alpha 2^*$ 、 βj^* および補償値 $\gamma 1^*$ のベクトル θ^* が同定される。

[0158] 具体的には、図31に示す式(52)～(57)により、ベクトル θ^* を算出する。このベクトル θ^* は、その転置行列が同図の式(56)のように定義される。また、式(52)において、 KP^* はゲイン係数のベクトルを表しており、このゲイン係数のベクトル KP^* は、式(53)により算出される。この式(53)の P^* は、式(54)で定義される $dy+4$ 次の正方行列であり、 ξ^* は、その転置行列が式(57)のように定義されるベクトルである。さらに、式(52)の同定誤差 ide^* は、式(55)により算出される。

[0159] 以上のような同定アルゴリズムでは、前述したように、式(54)の重みパラメータ $\lambda 1^*$ 、 $\lambda 2^*$ の設定により、固定ゲインアルゴリズム、最小2乗法アルゴリズム、漸減ゲインアルゴリズムおよび重み付き最小2乗法アルゴリズムのいずれかを選択可能であり、本実施形態では、前述した理由により、重み付き最小2乗法アルゴリズムが採用される。

[0160] 次に、2自由度スライディングモードコントローラ(以下「TDFSLDコントローラ」という)223について説明する。このTDFSLDコントローラ223では、以下に述べるように、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、カム位相 $Cain$ が目標カム位相 $Cain_cmd$ に収束するように、位相制御入力 $Ucain$ が算出される。

[0161] 具体的には、前述した式(47)のプラントモデルに基づき、前記TDFSLDコントローラ123と同様の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムを適用すると、図32に示す式(58)～(63)が導出される。同図の式(58)において、 $Cain_cmd_f$ は、目標カム位相のフィルタ値を表しており、 $POLE_f^*$ は、目標値フィルタ設定パラメータであり、 $-1 < POLE_f^* < 0$ の関係が成立する値に設定される。

[0162] また、等価制御入力 Ueq^* は、式(60)により算出される。同式(60)において、 $POLE^*$ は、切換関数設定パラメータであり、 $-1 < POLE^* < 0$ の関係が成立する値に設定される。

- [0163] さらに、到達則入力 U_{rch*} は、式(61)により算出される。同式(61)において、 K_{rch*} は、所定の到達則ゲインであり、 $Pre_σ*$ は、式(62)により算出される予測切換関数である。また、同式(62)の Pre_E_ca* は、追従誤差であり、式(63)により算出される。
- [0164] 以上のように、このカム位相コントローラ220では、状態予測器221において、補償値 $γ1*$ を加えた状態予測アルゴリズムにより、予測カム位相 Pre_Cain が算出されるとともに、この補償値 $γ1*$ がオンボード同定器222により逐次同定されるので、前述した定常偏差およびモデル化誤差を補償しながら、予測カム位相 Pre_Cain を精度よく算出することができる。
- [0165] また、TDFSLDコントローラ223においては、カム位相 $Cain$ を目標カム位相 $Cain_cmd$ に収束させることができると同時に、前述したように、その収束挙動および収束速度を、切換関数設定パラメータ $POLE*$ の設定により任意に指定することができる。さらに、補償値 $γ1*$ が等価制御入力 U_{eq*} の算出式(60)に含まれていることにより、外乱抑制能力も向上させることができる。
- [0166] なお、第2ACTASSコントローラ200およびカム位相コントローラ220における切換関数設定パラメータ $POLE'$ 、 $POLE*$ は、 $-1 < POLE' < POLE* < 0$ の関係が成立する値に設定される。これにより、カム位相コントローラ220による制御の速応性を、第2ACTASSコントローラ200による制御よりも高めることができ、吸入空気量制御の安定性すなわち制御性を向上させることができる。
- [0167] さらに、カム位相コントローラ220では、前述した制御周期 $ΔT2$ に同期してサンプリングされたデータを用いることにより、位相制御入力 U_{cain} が算出される。すなわち、位相制御入力 U_{cain} が、目標カム位相 $Cain_cmd$ の算出周期(すなわち制御周期 $ΔT1$)よりも短い周期 $ΔT2$ で算出される。これにより、カム位相コントローラ220の制御による、カム位相 $Cain$ の目標カム位相 $Cain_cmd$ への収束速度を、第2ACTASSコントローラ200の制御による、実吸入空気量 G_{cyl} の目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} への収束速度よりも早めることができ、その結果、吸入空気量制御の安定性すなわち制御性をさらに向上させることができる。
- [0168] 以下、図33を参照しながら、ECU2により実行されるエンジン制御のうちの主要な

制御処理について説明する。同図(a)に示すように、ステップ1(図では「S1」と略す。以下同じ)では、吸入空気量制御処理が、前述した制御周期 $\Delta T1$ で実行される。この処理では、後述するように、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ および目標カム位相 Ca_{in_cmd} などが算出される。

[0169] また、同図(b)に示すように、ステップ2, 3では、リフト制御入力 U_{liftin} および位相制御入力 U_{cain} が後述するように算出される。これらの算出処理は、前述した理由により、制御周期 $\Delta T1$ よりも短い制御周期 $\Delta T2(< \Delta T1)$ で実行される。

[0170] さらに、同図(c)に示すように、ステップ4, 5では、燃料制御処理および点火時期制御処理がTDC信号の発生タイミングに同期してそれぞれ実行される。この燃料制御処理では、その詳細な説明は省略するが、エンジン3の運転状態に応じて、燃料噴射弁12の燃料噴射量 $TOUT$ が算出される。また、点火時期制御処理では、後述するように、点火時期 $Iglog$ が算出される。

[0171] 次に、図34を参照しながら、前述した吸入空気量制御処理について説明する。同図に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ10で、吸気動弁機構故障フラグ F_VLVNG が「1」であるか否かを判別する。この吸気動弁機構故障フラグ F_VLVNG は、可変式吸気動弁機構40が故障しているときには「1」に、正常であるときには「0」にそれぞれ設定されるものである。

[0172] この判別結果がYESで、可変式吸気動弁機構40が故障しているときには、そのまま本プログラムを終了する。一方、この判別結果がNOで、可変式吸気動弁機構40が正常であるときには、ステップ11に進み、エンジン始動フラグ $F_ENGSTART$ が「1」であるか否かを判別する。このエンジン始動フラグ $F_ENGSTART$ は、図示しない判定処理において、エンジン回転数 NE および $IG \cdot SW29$ の出力状態に応じて、エンジン始動制御中すなわちクランキング中であるか否かを判定することにより設定されるものであり、具体的には、エンジン始動制御中であるときには「1」に、それ以外のときには「0」にそれぞれ設定される。

[0173] ステップ11の判別結果がYESで、エンジン始動制御中であるときには、ステップ12に進み、エンジン水温 TW に応じて、図35に示すテーブルを検索することにより、目標吸入空気量の始動時値 $Gcyl_cmd_crk$ を算出する。同図に示すように、この

テーブルでは、目標吸入空気量の始動時用値Gcyl_cmd_crkは、エンジン水温TWが高いほど、小さい値に設定されている。これは、エンジン水温TWが高いほど、エンジン3が始動しやすいことで、吸入空気量および燃料噴射量をいずれも小さくできることによる。

[0174] 次いで、ステップ13に進み、目標吸入空気量Gcyl_cmdを上記始動時用値Gcyl_cmd_crkに設定した後、ステップ14において、前述した式(1)により、実吸入空気量Gcylを算出する。次に、ステップ15に進み、後述するように、リフト&位相制御処理を実行した後、本プログラムを終了する。

[0175] 一方、ステップ11の判別結果がNOで、エンジン始動制御中でないときには、ステップ16に進み、エンジン3の始動終了直後からの経過時間である触媒暖機制御の実行時間Tcatが所定値Tcatlmt(例えば、30sec)より小さいか否かを判別する。この触媒暖機制御は、エンジン始動後に触媒装置16a、16b内の触媒を急速に活性化させるためのものである。

[0176] このステップ16の判別結果がYESで、 $Tcat < Tcatlmt$ のときには、ステップ17に進み、アクセル開度APが所定値APREFより小さいか否かを判別する。この所定値APREFは、アクセルペダルが踏まれていないことを判定するためのものであり、アクセルペダルが踏まれていないことを判定可能な値(例えば 1°)に設定されている。

[0177] このステップ17の判別結果がYESで、アクセルペダルが踏まれていないときには、触媒暖機制御を実行すべきであるとして、ステップ18に進み、触媒暖機制御の実行時間Tcatおよびエンジン水温TWに応じて、図36に示すマップを検索することにより、目標吸入空気量の触媒暖機用値Gcyl_cmd_astを算出する。

[0178] 同図のマップにおいて、エンジン水温TWの所定値TW1~TW3は、 $TW1 < TW2 < TW3$ の関係が成立するように設定されている。このマップでは、目標吸入空気量の触媒暖機用値Gcyl_cmd_astは、エンジン水温TWが低いほど、より大きい値に設定されている。これは、エンジン水温TWが低いほど、触媒の活性化に要する時間が長くなるので、排気ガスボリュームを大きくすることで、触媒の活性化に要する時間を短縮するためである。これに加えて、このマップでは、目標吸入空気量の触媒暖機用値Gcyl_cmd_astは、触媒暖機制御の実行時間Tcatが所定時間Tcat1を経

過するまでの間は、実行時間Tcatが長いほど、より大きな値に設定され、所定時間Tcat1の経過後は、実行時間Tcatが長いほど、より小さな値に設定されている。これは、実行時間Tcatの経過に伴い、エンジン3の暖機が進むことで、フリクションが低下した場合において、目標吸入空気量Gcyl_cmdを低減しないと、エンジン回転数NEを目標値に維持するために点火時期が過剰にリタード制御された状態となり、燃焼状態が不安定になってしまうので、それを回避するためである。

[0179] 次いで、ステップ19に進み、目標吸入空気量Gcyl_cmdを上記触媒暖機用値Gcyl_cmd_astに設定する。次に、前述したステップ14, 15を実行した後、本プログラムを終了する。

[0180] 一方、ステップ16またはステップ17の判別結果がNOのとき、すなわち $Tcat \geq Tcatlmt$ であるとき、またはアクセルペダルが踏まれているときには、ステップ20に進み、目標吸入空気量の通常運転用値Gcyl_cmd_drvを、アクセル開度APおよびエンジン回転数NEに応じて、図37に示すマップを検索することにより算出する。

[0181] 同図のマップにおいて、アクセル開度APの所定値AP1～AP3は、 $AP1 > AP2 > AP3$ の関係が成立するように設定されており、この関係は以下の説明でも同様である。このマップでは、目標吸入空気量の通常運転用値Gcyl_cmd_drvは、エンジン回転数NEが高いほど、またはアクセル開度APが大きいほど、より大きな値に設定されている。これは、エンジン回転数NEが高いほど、またはアクセル開度APが大きいほど、エンジン3が高負荷域にあることで、より大きな吸入空気量が要求されることによる。

[0182] 次いで、ステップ21に進み、目標吸入空気量Gcyl_cmdを上記通常運転値Gcyl_cmd_drvに設定する。次に、前述したステップ14, 15を実行した後、本プログラムを終了する。

[0183] 次に、図38を参照しながら、前述したリフト&位相制御処理について説明する。このプログラムでは、まず、ステップ30において、前回のループで設定されたリフトマスタフラグF_MSLIFTの値が「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、前回の制御モードが位相マスタモードであったときには、ステップ31に進み、偏差 Δg_{cyl_cmd} がしきい値Gcyl_accよりも大きいかな否かを判別する。

- [0184] この偏差 Δg_{cyl_cmd} は、目標吸入空気量の今回値と前回値との偏差 $[G_{cyl_cmd}(k) - G_{cyl_cmd}(k-1)]$ として算出される。また、しきい値 G_{cyl_acc} は、エンジン3が加速運転中であるか否かを判別するための所定値である。
- [0185] ステップ31の判別結果がYESで、エンジン3が加速運転中であるときには、ステップ32で、目標カム位相のしきい値 $Cain_mssw_lmt$ を、所定の加速用値 $Cain_mssw1$ に設定する。一方、ステップ31の判別結果がNOで、エンジン3が減速運転中または定速運転中のとき、すなわち非加速運転中のときには、ステップ33で、目標カム位相のしきい値 $Cain_mssw_lmt$ を、上記加速用値 $Cain_mssw1$ よりも小さい所定の非加速用値 $Cain_mssw2 (< Cain_mssw1)$ に設定する。
- [0186] これらのステップ32またはステップ33に続くステップ34では、目標カム位相の前回値 $Cain_cmd(k-1)$ が上記しきい値 $Cain_mssw_lmt$ より小さいか否かを判別する。この判別結果がNOで、 $Cain_cmd(k-1) \geq Cain_mssw_lmt$ のときには、位相マスタモードを実行すべき所定の低負荷域(所定の第1負荷域)にあるとして、ステップ35に進み、それを表すためにリフトマスタフラグ F_MSLIFT を「0」に設定する。
- [0187] 一方、ステップ34の判別結果がYESで、 $Cain_cmd(k-1) < Cain_mssw_lmt$ のときには、リフトマスタモードを実行すべき所定の高負荷域(所定の第2負荷域)にあるとして、ステップ36に進み、それを表すためにリフトマスタフラグ F_MSLIFT を「1」に設定する。
- [0188] これらのステップ35またはステップ36に続くステップ37では、後述するように、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ の算出処理を実行する。次に、ステップ38で、後述するように、目標カム位相 $Cain_cmd$ の算出処理を実行した後、本プログラムを終了する。
- [0189] 一方、ステップ30の判別結果がYESで、前回の制御モードがリフトマスタモードであったときには、ステップ39に進み、目標バルブリフトの前回値 $Liftin_cmd(k-1)$ が所定のしきい値 $Liftin_mssw$ 以下であるか否かを判別する。この判別結果がYESで、 $Liftin_cmd(k-1) \leq Liftin_mssw$ のときには、位相マスタモードを実行すべき所定の低負荷域にあるとして、前述したステップ35で、リフトマスタフラグ F_MSLIFT を「0」に設定する。次いで、前述したステップ37、38を実行した後、本プログラ

ムを終了する。

- [0190] 一方、ステップ39の判別結果がNOで、 $\text{Liftin_cmd}(k-1) > \text{Liftin_mssw}$ のときには、リフトマスタモードを実行すべき所定の高負荷域にあるとして、前述したステップ36で、リフトマスタフラグ F_MSLIFT を「1」に設定する。次いで、前述したステップ37, 38を実行した後、本プログラムを終了する。
- [0191] 次に、図39を参照しながら、前述した目標バルブリフト Liftin_cmd の算出処理について説明する。このプログラムでは、まず、ステップ50において、前述したステップ30と同様に、偏差 $\Delta \text{gcyl_cmd}$ がしきい値 Gcyl_acc よりも大きいかな否かを判別する。
- [0192] この判別結果がYESで、エンジン3が加速運転中であるときには、ステップ51に進み、目標バルブリフトのスレーブ値 Liftin_cmd_sl を、目標カム位相 Cain_cmd に応じて、図40に示す加速時用テーブルを検索することにより算出する。なお、この加速時用テーブルの検索では、目標カム位相 Cain_cmd として、その前回値 $\text{Cain_cmd}(k-1)$ を用いる。また、同図における Liftin_ref1 は、前述した所定のしきい値 Liftin_mssw よりも小さい所定値であり、 Cain_ref1 は、 $\text{Cain_mssw1} < \text{Cain_ref1} < \text{Cainad}$ の関係が成立するように設定された所定値である。
- [0193] 同図に示すように、この加速時用テーブルにおいては、スレーブ値 Liftin_cmd_sl は、 $\text{Cain_cmd} < \text{Cain_mssw1}$ の範囲では、前述した所定のしきい値 Liftin_mssw に設定され、 $\text{Cain_cmd} > \text{Cain_ref1}$ の範囲では、所定値 Liftin_ref1 に設定されているとともに、 $\text{Cain_mssw1} \leq \text{Cain_cmd} \leq \text{Cain_ref1}$ の範囲では、目標カム位相 Cain_cmd が進角側の値であるほど、より小さい値に設定されている。これは、前述したように、加速運転中、 $\text{Cain_cmd} \geq \text{Cain_mssw1}$ のときには、制御モードが位相マスタモードに設定されるので、目標カム位相 Cain_cmd が進角側の値であるほど、すなわちエンジン負荷が小さいほど、目標バルブリフト Liftin_cmd をより小さく設定することで、吸入空気量が小さくなるように、可変式吸気動弁機構40を制御するためである。
- [0194] 一方、ステップ50の判別結果がNOで、エンジン3が非加速運転中であるときには、ステップ52に進み、目標バルブリフトのスレーブ値 Liftin_cmd_sl を、目標カム

位相Cain__cmdに応じて、図41に示す非加速時用テーブルを検索することにより算出する。なお、この非加速時用テーブルの検索でも、目標カム位相Cain__cmdとして、その前回値Cain__cmd(k-1)を用いる。

- [0195] 同図に示すように、この非加速時用テーブルにおいては、スレーブ値Liftin__cmd__slは、Cain__cmd < Cain__mssw2の範囲では、所定のしきい値Liftin__msswに設定され、Cain__cmd > Cain__ref1の範囲では、所定値Liftin__ref1に設定されているとともに、Cain__mssw2 ≤ Cain__cmd ≤ Cain__ref1の範囲では、目標カム位相Cain__cmdが最進角値Cainad側の値であるほど、より小さい値に設定されている。これは、前述した図40の加速時用テーブルの説明で述べた理由と同じ理由に起因する。
- [0196] さらに、この非加速時用テーブルと、図40の加速時用テーブルとを比較すると明らかのように、スレーブ値Liftin__cmd__slは、Cain__mssw2 ≤ Cain__cmd ≤ Cain__ref1の範囲では、加速時用テーブルの方が、非加速時用テーブルよりも大きい値に設定されている。これは、加速運転時には、非加速運転時と比べて、エンジントルク制御の応答性を高める必要があるので、吸入空気量制御の応答性を高めるべく、制御モードが位相マスタモードのときには、リフトマスタモードへの移行を早めるようにするためである。
- [0197] ステップ51またはステップ52に続くステップ53では、リフトマスタフラグF__MSLIFTが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がYESで、リフトマスタモードであるときには、ステップ54に進み、前述した式(2)～(7)，(10)～(14)のリフトマスタモード用アルゴリズムにより、目標バルブリフトのマスタ値Liftin__cmd__msを算出する。
- [0198] 一方、ステップ53の判別結果がNOで、位相マスタモードであるときには、ステップ55に進み、前述した式(2)～(7)，(15)の位相マスタモード用アルゴリズムにより、目標バルブリフトのマスタ値Liftin__cmd__msを算出する。すなわち、Liftin__cmd__msが値0として算出される。
- [0199] ステップ54またはステップ55に続くステップ56において、目標バルブリフトLiftin__cmdを、そのマスタ値とスレーブ値の和(Liftin__cmd__ms + Liftin__cmd__sl)に設定した後、本プログラムを終了する。

- [0200] 次に、図42を参照しながら、前述した目標カム位相Cain_cmdの算出処理について説明する。このプログラムでは、まず、ステップ60において、目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_slを、目標バルブリフトLiftin_cmdに応じて、図43に示すテーブルを検索することにより算出する。なお、このテーブルの検索では、目標バルブリフトLiftin_cmdとして、その前回値Liftin_cmd(k-1)を用いる。また、同図のLiftin_ref2は、所定のしきい値Liftin_msswよりも大きい所定値であり、Cain_ref2は、 $Cain_{rt} < Cain_ref2 < Cain_mssw2$ の関係が成立するように設定された所定値である。
- [0201] 同図に示すように、このテーブルにおいては、スレーブ値Cain_cmd_slは、 $Liftin_cmd \leq Liftin_mssw$ の範囲では、所定値Cain_mssw2に設定され、 $Liftin_cmd \geq Liftin_ref2$ の範囲では、所定値Cain_ref2に設定されているとともに、 $Liftin_mssw < Liftin_cmd < Liftin_ref2$ の範囲では、目標バルブリフトLiftin_cmdが大きいほど、より遅角側の値に設定されている。これは、前述したように、 $Liftin_cmd > Liftin_mssw$ のときには、制御モードがリフトマスタモードに設定されるので、目標バルブリフトLiftin_cmdが大きいほど、すなわちエンジン負荷が大きいほど、目標カム位相Cain_cmdをより遅角側の値に設定することで、吸入空気量が大きくなるように、可変式吸気動弁機構40を制御するためである。
- [0202] 次いで、ステップ61に進み、リフトマスタフラグF_MSLIFTが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、位相マスタモードであるときには、ステップ62に進み、前述した式(16)～(21)，(24)～(28)の位相マスタモード用アルゴリズムにより、目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msを算出する。
- [0203] 一方、ステップ61の判別結果がYESで、リフトマスタモードであるときには、ステップ63に進み、前述した式(16)～(21)，(29)のリフトマスタモード用アルゴリズムにより、目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msを算出する。すなわち、マスタ値Cain_cmd_msが値0に設定される。
- [0204] ステップ62またはステップ63に続くステップ64において、目標カム位相Cain_cmdを、そのマスタ値とスレーブ値の和($Cain_cmd_ms + Cain_cmd_sl$)に設定した後、本プログラムを終了する。

- [0205] 次に、前述したリフト制御入力Uliftinの算出処理について説明する。図44に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ70で、前述した吸気動弁機構故障フラグF_VLVNGが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、可変式吸気動弁機構40が正常であるときには、ステップ71に進み、リフト偏差Pole__eliftinを、バルブリフトと目標バルブリフトとの偏差(Liftin-Liftin__cmd)に設定する。
- [0206] 次いで、ステップ72に進み、このリフト偏差Pole__eliftinに応じて、図45に示すテーブルを検索することにより、目標値フィルタ設定パラメータPOLE__f''を算出する。同図において、Pole__f''1, Pole__f''2は、 $-1 < \text{Pole_f''2} < \text{Pole_f''1} < 0$ の関係が成立するように設定された所定値であり、Pole__eliftin1, Pole__eliftin2は、 $\text{Pole_eliftin1} < \text{Pole_eliftin2}$ の関係が成立するように設定された所定値である。
- [0207] 同図に示すように、このテーブルにおいては、目標値フィルタ設定パラメータPOLE__f''は、 $\text{Pole_eliftin} < \text{Pole_eliftin1}$ の範囲では、所定値Pole__f''1に設定され、 $\text{Pole_eliftin} > \text{Pole_eliftin2}$ の範囲では、所定値Pole__f''2に設定されるとともに、 $\text{Pole_eliftin1} \leq \text{Pole_eliftin} \leq \text{Pole_eliftin2}$ の範囲では、リフト偏差Pole__eliftinが大きいほど、より値-1に近い値に設定されている。これは、以下の理由による。
- [0208] すなわち、前述したように、目標バルブリフトのスレーブ値Liftin__cmd_slは、加速運転中と非加速運転中とで、互いに異なる2つのテーブルを検索することにより、互いに異なる値として設定されるので、エンジン3の運転状態が加速状態と非加速状態との間で移行すると、その移行前後において、目標バルブリフトLiftin__cmdが急変することがあり、その場合には、目標バルブリフトLiftin__cmdに追従するように制御されるバルブリフトLiftinも急変し、吸入空気量が急変することで、トルク段差などが発生してしまう。したがって、そのような目標バルブリフトLiftin__cmdすなわちバルブリフトLiftinの急変を回避するために、目標値フィルタ設定パラメータPOLE__f''は、リフト偏差Pole__eliftinが大きいほど、すなわちバルブリフトLiftinと目標バルブリフトLiftin__cmdとの乖離度合いが大きいほど、より値-1に近い値になるように設定されている。これにより、目標バルブリフトのフィルタ値Liftin__cmd__fの急変を回避でき、その結果、バルブリフトLiftinの急変を回避できる。

- [0209] 次いで、ステップ73に進み、前述した式(34)～(46)の制御アルゴリズムにより、リフト制御入力Uliftinを算出した後、本プログラムを終了する。
- [0210] 一方、ステップ70の判別結果がYESで、可変式吸気動弁機構40が故障しているときには、ステップ74に進み、リフト制御入力Uliftinを所定の故障時用値Uliftin_fsに設定した後、本プログラムを終了する。この故障時用値Uliftin_fsは、バルブリフトLiftinが所定の微小値に制御されるような値(例えば、自動変速機タイプの車両では、クリープ走行可能な値)に設定される。
- [0211] 次に、前述した位相制御入力Ucainの算出処理について説明する。図46に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ80で、前述した吸気動弁機構故障フラグF_VLVNGが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、可変式吸気動弁機構40が正常であるときには、ステップ81に進み、位相偏差Pole__ecainを、カム位相と目標カム位相との偏差(Cain-Cain_cmd)に設定する。
- [0212] 次いで、ステップ82に進み、この位相偏差Pole__ecainに応じて、図47に示すテーブルを検索することにより、目標値フィルタ設定パラメータPOLE_f*を算出する。同図において、Pole_f*1, Pole_f*2は、 $-1 < \text{Pole_f*2} < \text{Pole_f*1} < 0$ の関係が成立するように設定された所定値であり、Pole__ecain1, Pole__ecain2は、 $\text{Pole_ecain1} < \text{Pole_ecain2}$ の関係が成立するように設定された所定値である。
- [0213] このテーブルにおいては、目標値フィルタ設定パラメータPOLE_f*は、 $\text{Pole_ecain} < \text{Pole_ecain1}$ の範囲では、所定値Pole_f*1に設定され、 $\text{Pole_ecain} > \text{Pole_ecain2}$ の範囲では、所定値Pole_f*2に設定されているとともに、 $\text{Pole_ecain1} \leq \text{Pole_ecain} \leq \text{Pole_ecain2}$ の範囲では、位相偏差Pole__ecainが大きいほど、より値-1に近い値に設定されている。これは、以下の理由による。
- [0214] すなわち、前述したように、エンジン3の運転状態が非加速状態から加速状態に移行すると、その移行前後において、目標バルブリフトLiftin_cmdが急変することがあり、その場合には、目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_slが目標バルブリフトLiftin_cmdに応じて設定されるので、目標カム位相Cain_cmdも急変することで、これに追従するように制御されるカム位相Cainも急変する。その結果、吸入空気量

が急変することで、トルク段差などが発生することがある。それを回避するために、リフト偏差 $Pole_ecain$ が大きいほど、すなわちカム位相 $Cain$ と目標カム位相 $Cain_cmd$ との乖離度合いが大きいほど、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE_f*$ が、より値 -1 に近い値になるように設定される。これにより、非加速状態から加速状態に移行した際、目標カム位相 $Cain_cmd$ の急変を回避でき、その結果、カム位相 $Cain$ の急変を回避できる。

[0215] 次いで、ステップ83に進み、前述した式(51)～(63)の制御アルゴリズムにより、位相制御入力 $Ucain$ を算出した後、本プログラムを終了する。

[0216] 一方、ステップ80の判別結果がYESで、可変式吸気動弁機構40が故障しているときには、ステップ84に進み、位相制御入力 $Ucain$ を所定の故障時用値 $Ucain_fs$ に設定した後、本プログラムを終了する。この故障時用値 $Ucain_fs$ は、カム位相 $Cain$ が最遅角値 $Cainrt$ に制御されるような値に設定される。

[0217] 次に、図48を参照しながら、前述した点火時期制御処理について説明する。同図に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ90で、前述したように、吸気動弁機構故障フラグ F_VLVNG が「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、可変式吸気動弁機構40が正常であるときには、ステップ91に進み、エンジン始動フラグ $F_ENGSTART$ が「1」であるか否かを判別する。

[0218] この判別結果がYESで、エンジン始動制御中であるときには、ステップ92に進み、点火時期 $Iglog$ を、所定の始動時用値 Ig_crk (例えばBTDC10deg)に設定した後、本プログラムを終了する。

[0219] 一方、ステップ91の判別結果がNOで、エンジン始動制御中でないときには、ステップ93に進み、前述したように、触媒暖機制御の実行時間 $Tcat$ が前述した所定値 $Tcatlmt$ より小さいか否かを判別する。この判別結果がYESで、 $Tcat < Tcatlmt$ のときには、ステップ94に進み、前述したように、アクセル開度 AP が所定値 $APREF$ より小さいか否かを判別する。

[0220] この判別結果がYESで、アクセルペダルが踏まれていないときには、触媒暖機制御を実行すべきであるとして、ステップ95に進み、触媒暖機用値 Ig_ast を算出する。この触媒暖機用値 Ig_ast は、具体的には、図49に示す式(64)～(66)の応答指

定型制御アルゴリズム(スライディングモード制御アルゴリズムまたはバックステッピング制御アルゴリズム)により、算出される。

[0221] なお、式(64)～(66)における記号(m)付きの各離散データは、TDC信号の入力に同期してサンプリング(または算出)されたデータであることを示しており、記号mは各離散データのサンプリングサイクルの順番を表している。なお、以下の説明では、各離散データにおける記号(m)を適宜、省略する。

[0222] 同図の式(64)において、 ig_ast_base は、所定の触媒暖機用の基準点火時期(例えばBTDC5deg)を表し、 $Krch \#$ 、 $Kadp \#$ は、フィードバックゲインを表している。また、 $\sigma \#$ は、式(65)(66)により算出される切換関数である。同式(65)において、 $POLE \#$ は、 $-1 < POLE \# < 0$ の関係が成立するように設定される応答指定パラメータであり、 $Enast$ は、式(66)により算出される追従誤差である。式(66)において、 NE_ast は、所定の触媒暖機用の目標回転数(例えば1800rpm)である。以上の制御アルゴリズムにより、触媒暖機用値 Ig_ast は、エンジン回転数 NE を上記触媒暖機用の目標回転数 NE_ast に収束させる値として、算出される。

[0223] 次に、ステップ96に進み、点火時期 $Iglog$ を上記触媒暖機用値 Ig_ast に設定した後、本プログラムを終了する。

[0224] 一方、ステップ93またはステップ94の判別結果がNOのとき、すなわち $Tcat \geq Tcatlmt$ であるとき、またはアクセルペダルが踏まれているときには、ステップ97に進み、アクセル開度 AP およびエンジン回転数 NE に応じて、図50に示すマップを検索することにより、通常運転用値 Ig_drv を算出する。

[0225] このマップでは、通常運転用値 Ig_drv は、アクセル開度 AP が大きいほど、より進角度合いの小さい値に設定されている。これは、アクセル開度 AP が大きいほど、エンジン3が高負荷域にあることで、ノッキングが発生しやすくなるので、それを回避するためである。これに加えて、通常運転用値 Ig_drv は、低回転域では、エンジン回転数 NE が高いほど、より進角度合いの大きい値に設定され、高回転域では、エンジン回転数 NE が高いほど、より進角度合いの小さい値に設定されている。これは、低回転域では、ノッキングが発生しにくいので、エンジン回転数 NE が高いほど、点火時期をより進角度合いの大きい値に設定することで、燃焼ガス温度を高め、燃焼効率を高

めるためである。一方、高回転域では、ノッキングが発生しやすくなるので、エンジン回転数NEが高いほど、点火時期をより進角度合いの小さい値に設定することで、ノッキングの発生を回避するためである。

[0226] 次いで、ステップ98に進み、点火時期Iglogを上記通常運転用値Ig_drvに設定した後、本プログラムを終了する。

[0227] 一方、ステップ90の判別結果がYESで、可変式吸気動弁機構40が故障しているときには、ステップ99に進み、故障時用値Ig_fsを算出する。この故障時用値Ig_fsは、具体的には、図49に示す式(67)～(69)の応答指定型制御アルゴリズム(スライディングモード制御アルゴリズムまたはバックステッピング制御アルゴリズム)により、算出される。

[0228] 同図の式(67)において、ig_fs_baseは、所定の故障時用の基準点火時期(例えばTDC+0deg)を表し、Krch ##, Kadp ##は、フィードバックゲインを表している。また、 σ ##は、式(68)(69)により算出される切換関数である。同式(68)において、POLE ##は、 $-1 < \text{POLE} \leq 0$ の関係が成立するように設定される応答指定パラメータであり、Enfsは、式(69)により算出される追従誤差である。式(69)において、NE_fsは、所定の故障時用の目標回転数(例えば2000rpm)である。以上の制御アルゴリズムにより、故障時用値Ig_fsは、エンジン回転数NEを上記故障時用の目標回転数NE_fsに収束させる値として、算出される。

[0229] 次いで、ステップ100に進み、点火時期Iglogを上記故障時用値Ig_fsに設定した後、本プログラムを終了する。

[0230] 以上のような本実施形態の吸入空気量制御装置1によれば、目標バルブリフトLiftin_cmdを所定のしきい値Liftin_msswと比較することにより、または目標カム位相Cain_cmdをしきい値Cain_mssw_lmtと比較することにより、吸入空気量制御の制御モードとして、リフトマスタモードまたは位相マスタモードが選択される。具体的には、 $\text{Liftin_cmd} > \text{Liftin_mssw}$ のとき、または $\text{Cain_cmd} \leq \text{Cain_mssw_lmt}$ のとき、すなわちエンジン3の負荷が所定の高負荷域にあるときには、リフトマスタモードが選択され、それ以外のとき、すなわちエンジン3の負荷が所定の低負荷域にあるときには、位相マスタモードが選択される。

[0231] このリフトマスタモードでは、目標バルブリフトLiftin_cmdが、リフトマスタモード用アルゴリズム[式(2)～(7), (10)～(14)]で算出された目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msと、テーブル検索により算出された目標バルブリフトのスレーブ値Liftin_cmd_slとの和として算出され、それにより、実吸入空気量Gcylが目標吸入空気量Gcyl_cmdに収束するように制御される。さらに、目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msが値0に設定されるとともに、スレーブ値Cain_cmd_slが、目標バルブリフトLiftin_cmdに応じて、テーブル検索により算出される。このように、エンジン3の負荷が所定の高負荷域にあることで、リフトマスタモードが選択されたときには、バルブリフト制御により、実吸入空気量Gcylを目標吸入空気量Gcyl_cmdに収束するように制御でき、吸入空気量制御のむだ時間を小さくでき、応答性を向上させることができる。これに加えて、目標カム位相Cain_cmdすなわちそのスレーブ値Cain_cmd_slが、目標バルブリフトLiftin_cmdに応じて設定されるので、そのようなバルブリフト制御に干渉しないように、カム位相Cainを制御することができる。すなわち、吸入空気量制御における高い応答性が要求される高負荷域では、カム位相制御およびバルブリフト制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、そのような高い応答性を確保することができる。

[0232] 一方、位相マスタモードでは、目標カム位相Cain_cmdが、位相マスタモード用アルゴリズム[式(16)～(21), (24)～(28)]で算出された目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msと、テーブル検索により算出された目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_slとの和として算出され、それにより、実吸入空気量Gcylが目標吸入空気量Gcyl_cmdに収束するように制御される。さらに、目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msが値0に設定されるとともに、スレーブ値Liftin_cmd_slが、目標カム位相Cain_cmdに応じて、テーブル検索により算出される。このように、エンジン3の負荷が所定の低負荷域にあることで、位相マスタモードが選択されたときには、カム位相制御により、実吸入空気量Gcylを目標吸入空気量Gcyl_cmdに収束するように制御でき、吸入空気量を微小な変化量できめ細かく制御することができ、制御精度を向上させることができる。これに加えて、目標バルブリフトLiftin_cmdすなわちそのスレーブ値Liftin_cmd_slが、目標カム位相Cain_cmdに応じて設定される

ので、そのようなカム位相制御に干渉しないように、バルブリフトLiftinを制御することができる。すなわち、吸入空気量制御における高い制御精度が要求される低負荷域では、カム位相制御およびバルブリフト制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、そのような高い制御精度を確保することができる。

[0233] また、図40, 41のテーブルでは、目標バルブリフトのスレーブ値Liftin_cmd_slによる吸入空気量の増減方向が、目標カム位相Cain_cmdによる吸入空気量の増減方向に合致するように、両者の関係が設定されているとともに、図43のテーブルでは、目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_slによる吸入空気量の増減方向が、目標バルブリフトLiftin_cmdによる吸入空気量の増減方向に合致するように、両者の関係が設定されている。これにより、カム位相制御およびバルブリフト制御が互いに干渉し合うのをより確実に回避できる。

[0234] さらに、一般に、吸気弁4の開弁タイミングがより早くなると、内部EGR量が増大し、燃焼速度が低下する。これに対して、図40, 41のテーブルでは、目標カム位相Cain_cmdが進角側の値であるほど、すなわち吸気弁4の開弁タイミングがより早くなる値であるほど、目標バルブリフトのスレーブ値Liftin_cmd_slがより小さくなるように設定されているので、開弁タイミングの早期化に伴ってバルブリフトLiftinがより小さく制御されることで、筒内流動を増大させることができ、それにより、上記のような燃焼速度の低下を補償でき、安定した燃焼状態を実現することができる。さらに、吸気弁4の開弁タイミングがより進角すると、バルブリフトLiftinが必ず小さくなるように制御されるので、例えば、吸気弁4および排気弁7が同時に開弁状態になると互いに当接するようなレイアウトのエンジンに適用した場合、そのような当接を確実に回避することができる。

[0235] また、目標カム位相Cain_cmdと比較されるしきい値Cain_mssw_lmtは、エンジン3の加速運転中は、非加速運転中よりも小さな値に設定されるので、 $Cain_cmd \leq Cain_mssw_lmt$ が成立しやすくなることで、位相マスタモードからリフトマスタモードへの切り換えが迅速に実行される。すなわち、エンジン3の加速運転中にあり、エンジン負荷が高い状態では、それに応じてリフトマスタモードへの移行を迅速に行うことができ、それにより、吸入空気量制御での高い応答性を迅速かつ適切に確保す

ることができる。

[0236] さらに、目標バルブリフトLiftin_cmdのスレーブ値Liftin_cmd_slが、エンジン3の加速運転中は、非加速運転中よりも大きな値に設定されるので、ステップ39において、 $\text{Liftin_cmd} > \text{Liftin_mssw}$ が成立しやすくなることで、制御モードがリフトマスタモードにある場合には、リフトマスタモードに維持される領域が拡大される。これにより、エンジン3が加速運転中にあり、エンジン負荷が高い状態では、それに応じてリフトマスタモードを実行する領域を拡大することができ、それにより、吸入空気量制御での高い応答性を迅速かつ適切に確保することができる。また、同じ理由により、ステップ60で、加速運転中は、目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_slが非加速運転中よりも小さな値に設定されることにより、ステップ34において、 $\text{Cain_cmd} \leq \text{Cain_mssw_lmt}$ が成立しやすくなることで、上述したように、位相マスタモードからリフトマスタモードへの切り換えが迅速に実行される。

[0237] また、吸入空気量の制御モードがリフトマスタモードのときには、目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msが値0に設定され、位相マスタモードのときには、目標バルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msが値0に設定されるので、例えば、制御モードが位相マスタモードからリフトマスタモードに切り換わる際、その切り換え前のバルブリフトのマスタ値Liftin_cmd_msが、値0に設定されていることで、切り換え後にその初期値として値0が用いられることにより、目標バルブリフトLiftin_cmdが急変するのを回避できる。これとは逆に、制御モードがリフトマスタモードから位相マスタモードに切り換わる際にも、切り換え後、目標カム位相のマスタ値Cain_cmd_msの初期値として値0が用いられることにより、目標カム位相Cain_cmdが急変するのを回避できる。以上のように、制御モードの切り換えの前後における吸入空気量の制御状態の急変を回避でき、それにより、トルク段差などの発生を回避できる。

[0238] さらに、2つのマスタ値Liftin_cmd_ms, Cain_cmd_msがいずれも、前述した目標値フィルタ型2自由度制御アルゴリズムにより算出されるので、目標値フィルタアルゴリズムにより、実吸入空気量Gcylの目標吸入空気量Gcyl_cmdへの収束速度を適切に設定できるとともに、スライディングモード制御アルゴリズムにより、実吸入空気量Gcylの目標吸入空気量Gcyl_cmdへの収束挙動を適切に設定

することができる。

[0239] また、目標カム位相Cain__cmdおよび目標バルブリフトLiftin__cmdの算出周期すなわち制御周期 $\Delta T1$ が、吸入空気量の動特性をプラントモデル[式(8), (22)]に適切に反映されるような所定の値に設定されているので、目標カム位相Cain__cmdおよび目標バルブリフトLiftin__cmdにより、吸入空気量の過渡的变化を精度よく、制御することができる。また、リフト制御入力Uliftinおよび位相制御入力Ucainの算出周期すなわち制御周期 $\Delta T2$ が、目標バルブリフトLiftin__cmdおよび目標カム位相Cain__cmdの算出周期 $\Delta T1$ よりも短い値に設定されているので、バルブリフトコントローラ120の制御によるバルブリフトLiftinの目標バルブリフトLiftin__cmdへの収束速度、およびカム位相コントローラ220の制御によるカム位相Cainの目標カム位相Cain__cmdへの収束速度を、第1および第2ACTASSコントローラ100, 200の制御による、実吸入空気量Gcylの目標吸入空気量Gcyl__cmdへの収束速度よりも早めることができ、それにより、吸入空気量制御の安定性すなわち制御性をさらに向上させることができる。

[0240] なお、第1および第2ACTASSコントローラ100, 200において、式(2)～(7), (10)～(15)および式(16)～(21), (24)～(29)の制御アルゴリズムに代えて、図51に示す式(70)～(77)および図52に示す式(78)～(85)の簡易型の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、目標バルブリフトおよび目標カム位相のマスタ値Liftin__cmd'_ms, Cain__cmd__msを算出してもよい。なお、式(71)におけるUadpは、式(73)により算出される適応則入力であり、式(73)のKadpは、フィードバックゲインである。これと同様に、式(79)におけるUadp'は、式(81)により算出される適応則入力であり、式(81)のKadp'は、フィードバックゲインである。

[0241] この場合、目標バルブリフトのマスタ値Liftin__cmd__msは、リフトマスタモードのときには、式(70)～(74), (76), (77)により算出され、位相マスタモードのときには、式(70)～(73), (75)～(77)により値0として算出される。さらに、目標カム位相のマスタ値Cain__cmd__msは、位相マスタモードのときには、式(78)～(82), (84), (85)により算出され、リフトマスタモードのときには、式(78)～(81), (83)～(85)に

より値0として算出される。以上の式(70)～(77)および式(78)～(85)の簡易型の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムを用いた場合、前述した外乱推定値 $c1$, $c1'$ を算出する必要がなくなり、適応外乱オブザーバ108, 208が不要になるので、その分、ECU2の演算負荷を低減することができる。

- [0242] 図53に示すように、式(70)～(77)および式(78)～(85)の簡易型の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムを用いた場合でも、実吸入空気量 G_{cyl} を目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} に追従させるように制御できることが判る。特に、目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} が大きい値に設定されている場合、すなわちエンジン負荷が高い場合、制御モードとしてリフトマスタモードが選択されることにより、目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} の大きな変化に対して、実吸入空気量 G_{cyl} の追従性を高められることが判る。
- [0243] 一方、目標吸入空気量 G_{cyl_cmd} が小さい値に設定されている場合、すなわちエンジン負荷が低い場合、制御モードとして位相マスタモードが選択されることにより、バルブリフト $Liftin$ の変化量 $\Delta Liftin [= Liftin(k) - Liftin(k-1)]$ を小さい値に制御することができることが判る。これにより、吸入空気量を微小な値で制御するときでも、バルブリフト可変機構50の個体間のばらつきや経年変化の影響を回避できることが判る。
- [0244] なお、実施形態は、カム位相 $Cain$ を制御する所定の第1制御アルゴリズムとして、目標カム位相のスレーブ値 $Cain_cmd_sl$ を、目標バルブリフト $Liftin_cmd$ に応じて、テーブル検索することにより算出するアルゴリズムを用いた例であるが、所定の第1制御アルゴリズムはこれに限らず、バルブリフト制御を補助するために、カム位相 $Cain$ を制御するものであればよい。例えば、目標カム位相のスレーブ値 $Cain_cmd_sl$ を、エンジン回転数 NE およびアクセル開度 AP などのエンジン負荷を表すパラメータに応じて、マップ検索またはテーブル検索により算出するアルゴリズムでもよい。
- [0245] また、実施形態は、バルブリフト $Liftin$ を制御する所定の第2制御アルゴリズムとして、目標バルブリフトのスレーブ値 $Liftin_cmd_sl$ を、目標カム位相 $Cain_cmd$ に応じて、テーブル検索することにより算出するアルゴリズムを用いた例であるが、所定の第2制御アルゴリズムはこれに限らず、カム位相制御を補助するために、バルブリ

フトLiftinを制御するものであればよい。例えば、目標バルブリフトのスレーブ値Liftin_cmd_slを、エンジン回転数NEおよびアクセル開度APなどのエンジン負荷を表すパラメータに応じて、マップ検索またはテーブル検索により算出するアルゴリズムでもよい。

[0246] さらに、実施形態は、2自由度制御アルゴリズムとして目標値フィルタ型2自由度制御アルゴリズムを用いた例であるが、2自由度制御アルゴリズムはこれに限らず、フィードバック制御アルゴリズムを含むものであればよい。例えば、2自由度制御アルゴリズムとして、フィードバック補償型2自由度制御アルゴリズムを用いてもよい。

[0247] また、実施形態は、カム位相およびバルブリフトの制御状態を表すパラメータとして、目標カム位相Cain_cmdおよび目標バルブリフトLiftin_cmdをそれぞれ用いた例であるが、これらに代えて、カム位相CainおよびバルブリフトLiftinを用いてもよい。具体的には、目標バルブリフトのスレーブ値Liftin_cmd_slを、図40、41のテーブルに代えて、スレーブ値Liftin_cmd_slがカム位相Cainに応じて設定されたテーブルを検索することにより、算出するとともに、目標カム位相のスレーブ値Cain_cmd_slを、図43のテーブルに代えて、スレーブ値Cain_cmd_slがバルブリフトLiftinに応じて設定されたテーブルを検索することにより、算出してもよい。さらに、これらのスレーブ値Liftin_cmd_sl、Cain_cmd_slを、エンジン回転数NE、アクセル開度AP、目標吸入空気量Gcyl_cmdおよび実吸入空気量Gcylのうちの1つのパラメータに応じて設定されたテーブル、または2つのパラメータに応じて設定されたマップを検索することにより、算出するようにしてもよい。

[0248] さらに、実施形態は、負荷パラメータおよび第1負荷パラメータとして、エンジン回転数NEおよびアクセル開度AP(または目標吸入空気量Gcyl_cmd)を用いた例であるが、負荷パラメータおよび第1負荷パラメータはこれに限らず、エンジン3の負荷を表すものであればよい。例えば、負荷パラメータおよび第1負荷パラメータとして、実吸入空気量Gcylなどを用いてもよい。

[0249] また、実施形態は、第2負荷パラメータとして、目標バルブリフトLiftin_cmdおよび目標カム位相Cain_cmdを用いた例であるが、第2負荷パラメータはこれに限らず、エンジン3の負荷を表すものであればよい。例えば、第2負荷パラメータとして、バル

ブリフトLiftinおよびカム位相Cainを用いてもよく、さらに、エンジン回転数NE、アクセル開度AP、目標吸入空気量Gcyl_cmdおよび実吸入空気量Gcylなどを用いてもよい。

[0250] さらに、ステップ34の判別において、カム位相Cainと所定値Cain_mssw_imtを比較し、ステップ39の判別において、バルブリフトLiftinと所定のしきい値Liftin_msswを比較するようにしてもよい。

[0251] さらに、エンジン3が加速状態にあるか否かを判定する手法は、偏差 Δ g cyl_cmdを所定値Gcyl_accと比較する実施形態の例(ステップ31)に限らず、エンジン3が加速状態にあるか否かを判定できるものであればよい。例えば、実施形態のステップ31で、実吸入空気量Gcylの今回値と前回値との偏差を所定値と比較してもよい。

[0252] また、第1および第2ACTASSコントローラ100, 200の制御アルゴリズムにおいて、バルブリフトコントローラ120およびカム位相コントローラ220と同様に、状態予測器およびオンボード同定器を付加してもよく、また、パラメータスケジューラなどを付加してもよい。

[0253] さらに、実施形態は、バルブリフト可変機構として、バルブリフトを無段階(連続的)に変更可能なものを用いた例であるが、バルブリフト可変機構はこれに限らず、バルブリフトを変更可能なものであればよい。例えば、バルブリフト可変機構として、バルブリフトを複数段階で変更可能なものを用いてもよい。

[0254] また、実施形態は、カム位相可変機構として、カム位相を無段階(連続的)に変更可能なものを用いた例であるが、カム位相可変機構はこれに限らず、カム位相を変更可能なものであればよい。例えば、カム位相可変機構として、カム位相を複数段階で変更可能なものを用いてもよい。

産業上の利用の可能性

[0255] 本発明の吸入空気量制御装置は、実施形態の車両用の内燃機関に限らず、船舶などの各種の産業機械用の内燃機関に適用可能である。

請求の範囲

- [1] 吸気弁を開閉するための吸気カムシャフトのクランクシャフトに対するカム位相をカム位相可変機構を介して可変制御するとともに、前記吸気弁のバルブリフトをバルブリフト可変機構を介して可変制御することにより、気筒内に吸入される吸入空気量を制御する内燃機関の吸入空気量制御装置であって、
- 前記吸入空気量制御の目標となる目標吸入空気量を、前記内燃機関の負荷を表す負荷パラメータに応じて設定する目標吸入空気量設定手段と、
- 前記吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段と、
- 当該検出された吸入空気量が前記目標吸入空気量に収束するように、前記カム位相および前記バルブリフトの一方を制御するための第1制御値を算出する第1制御値算出手段と、
- 当該第1制御値算出手段により算出された第1制御値に基づき、前記カム位相および前記バルブリフトの他方を制御するための第2制御値を算出する第2制御値算出手段と、
- を備えることを特徴とする内燃機関の吸入空気量制御装置。
- [2] 前記第1制御値は、前記吸入空気量を前記目標吸入空気量に収束させるためのフィードバック制御値を含み、
- 前記第1制御値手段は、当該フィードバック制御値を2自由度制御アルゴリズムにより算出することを特徴とする請求項1に記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。
- [3] 前記第1制御値に応じて、前記カム位相可変機構および前記バルブリフト可変機構の一方への制御入力を算出するとともに、前記第2制御値に応じて、前記カム位相可変機構および前記バルブリフト可変機構の他方への制御入力を算出する制御入力算出手段をさらに備え、
- 前記第1制御値算出手段および前記第2制御値算出手段の算出周期は、前記制御入力算出手段の算出周期よりも長く設定されていることを特徴とする請求項1または2に記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。
- [4] 吸気弁を開閉するための吸気カムシャフトのクランクシャフトに対するカム位相をカム位相可変機構を介して可変制御するとともに、前記吸気弁のバルブリフトをバルブ

リフト可変機構を介して可変制御することにより、気筒内に吸入される吸入空気量を制御する内燃機関の吸入空気量制御装置であって、

前記吸入空気量制御の目標となる目標吸入空気量を、前記内燃機関の負荷を表す第1負荷パラメータに応じて設定する目標吸入空気量設定手段と、

前記吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段と、

当該検出された吸入空気量が前記目標吸入空気量に収束するように、前記バルブリフトを制御するとともに、当該バルブリフト制御を補助するために、前記カム位相を所定の第1制御アルゴリズムで制御する第1制御手段と、

前記検出された吸入空気量が前記目標吸入空気量に収束するように、前記カム位相を制御するとともに、当該カム位相制御を補助するために、前記バルブリフトを所定の第2制御アルゴリズムで制御する第2制御手段と、

前記内燃機関の負荷を表す第2負荷パラメータに応じて、前記第1制御手段および前記第2制御手段の一方を選択するとともに、当該選択した一方による制御を実行させる制御選択手段と、

を備えることを特徴とする内燃機関の吸入空気量制御装置。

- [5] 前記第1制御手段の前記所定の第1制御アルゴリズムは、前記バルブリフトの制御状態に応じて前記カム位相を制御するアルゴリズムであり、

前記第2制御手段の前記所定の第2制御アルゴリズムは、前記カム位相の制御状態に応じて前記バルブリフトを制御するアルゴリズムであることを特徴とする請求項4に記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。

- [6] 前記制御選択手段は、前記第2負荷パラメータにより表される前記内燃機関の負荷が所定の第1負荷域にあるときには、前記第2制御手段を選択し、前記第2負荷パラメータにより表される前記内燃機関の負荷が前記所定の第1負荷域よりも高い所定の第2負荷域にあるときには、前記第1制御手段を選択することを特徴とする請求項4または5に記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。

- [7] 前記制御選択手段は、
前記内燃機関が加速状態にあるか否かを判定する加速判定手段と、
前記第2負荷パラメータが、所定のしきい値よりも小さいときには、前記内燃機関の

負荷が前記所定の第2負荷域にあると判定し、当該所定のしきい値以上のときには、前記所定の第1負荷域にあると判定する負荷域判定手段と、

前記所定のしきい値を、前記加速判定手段により前記内燃機関が加速状態にあると判定されたときには、それ以外のときよりも大きい値に設定するしきい値設定手段と、

を備えることを特徴とする請求項6に記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。

[8] 前記制御選択手段は、

前記内燃機関が加速状態にあるか否かを判定する加速判定手段と、

前記第2負荷パラメータを、前記加速判定手段により前記内燃機関が加速状態にあると判定されたときには、それ以外のときよりも大きい値に設定する第2負荷パラメータ設定手段と、

当該設定された第2負荷パラメータが、所定のしきい値以下のときには、前記内燃機関の負荷が前記所定の第1負荷域にあると判定し、当該所定のしきい値よりも大きいときには、前記所定の第2負荷域にあると判定する負荷域判定手段と、

を備えることを特徴とする請求項6に記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。

[9] 前記第1制御手段および前記第2制御手段の各々は、

前記カム位相を制御するためのカム位相制御値を算出するカム位相制御値算出手段と、

前記バルブリフトを制御するためのバルブリフト制御値を算出するバルブリフト制御値算出手段と、

を備え、

前記カム位相制御値算出手段は、前記カム位相制御値を、前記吸入空気量を前記目標吸入空気量に収束させるためのカム位相フィードバック制御値と、前記バルブリフト制御値に応じて設定されるカム位相設定値との和として算出し、

前記バルブリフト制御値算出手段は、前記バルブリフト制御値を、前記吸入空気量を前記目標吸入空気量に収束させるためのバルブリフトフィードバック制御値と、前記カム位相制御値に応じて設定されるバルブリフト設定値との和として算出し、

前記第1制御手段の前記カム位相制御値算出手段は、前記制御選択手段により

前記第1制御手段が選択されたときに、前記カム位相フィードバック制御値を値0に設定し、

前記第2制御手段の前記バルブリフト制御値算出手段は、前記制御選択手段により前記第2制御手段が選択されたときに、前記バルブリフトフィードバック制御値を値0に設定することを特徴とする請求項4ないし8のいずれかに記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。

- [10] 前記カム位相制御値算出手段は、2自由度制御アルゴリズムにより、前記カム位相フィードバック制御値を算出し、

前記バルブリフト制御値算出手段は、2自由度制御アルゴリズムにより、前記バルブリフトフィードバック制御値を算出することを特徴とする請求項9に記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。

- [11] 前記カム位相制御値算出手段は、前記バルブリフト制御値が前記バルブリフトをより減少させるような値であるほど、前記カム位相設定値を前記吸気弁の開弁タイミングをより早くするような値に設定し、

前記バルブリフト制御値算出手段は、前記カム位相制御値が前記吸気弁の開弁タイミングをより早くするような値であるほど、前記バルブリフト設定値を前記バルブリフトをより減少させるような値に設定することを特徴とする請求項9または10に記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。

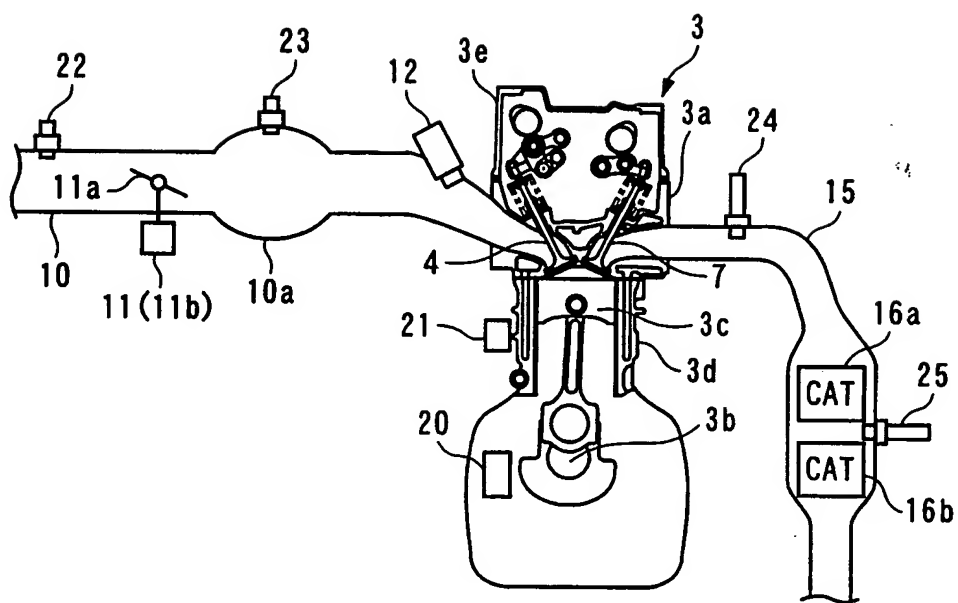
- [12] 前記カム位相制御値に応じて、前記カム位相可変機構への制御入力を算出するとともに、前記バルブリフト制御値に応じて、前記バルブリフト可変機構への制御入力を算出する制御入力算出手段をさらに備え、

前記カム位相制御値算出手段および前記バルブリフト制御値算出手段の算出周期は、前記制御入力算出手段の算出周期よりも長く設定されていることを特徴とする請求項9ないし11のいずれかに記載の内燃機関の吸入空気量制御装置。

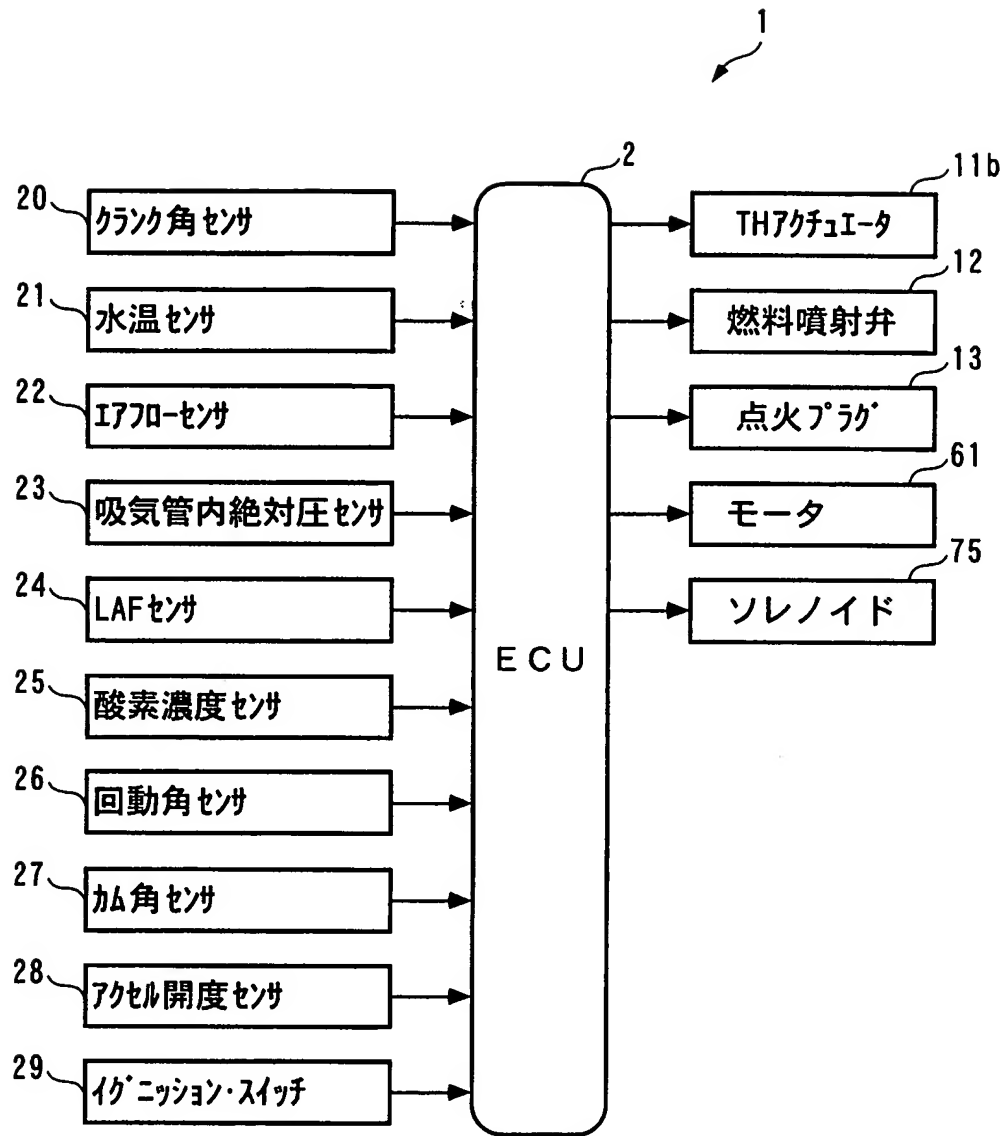
要 約 書

カム位相およびバルブリフトをいずれも制御することで、吸入空気量を制御する場合において、カム位相制御およびバルブリフト制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、吸入空気量制御の応答性および制御精度を向上させることができる内燃機関の吸入空気量制御装置を提供する。吸入空気量制御装置1のECU2は、目標バルブリフトLiftin_cmdおよび目標カム位相Cain_cmdに応じて吸入空気量を制御し、Liftin_cmd,Cain_cmdは、実吸入空気量Gcylを目標吸入空気量Gcyl_cmdに収束させるためのマスタ値Liftin_cmd_ms,Cain_cmd_msと、Liftin_cmd,Cain_cmdに応じて設定されるスレーブ値Liftin_cmd_sl,Cain_cmd_slとの和として算出され(ステップ56,64)、リフトマスタモードではCain_cmd_ms=0に(ステップ63)、位相マスタモードではLiftin_cmd_ms=0にそれぞれ設定される(ステップ55)。

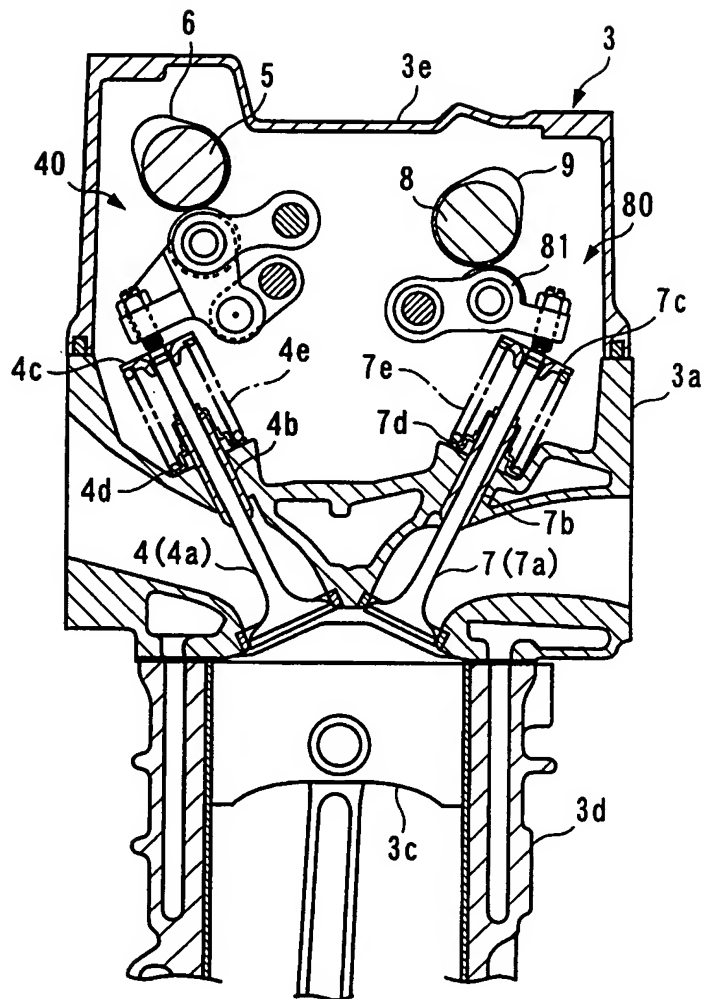
[図1]

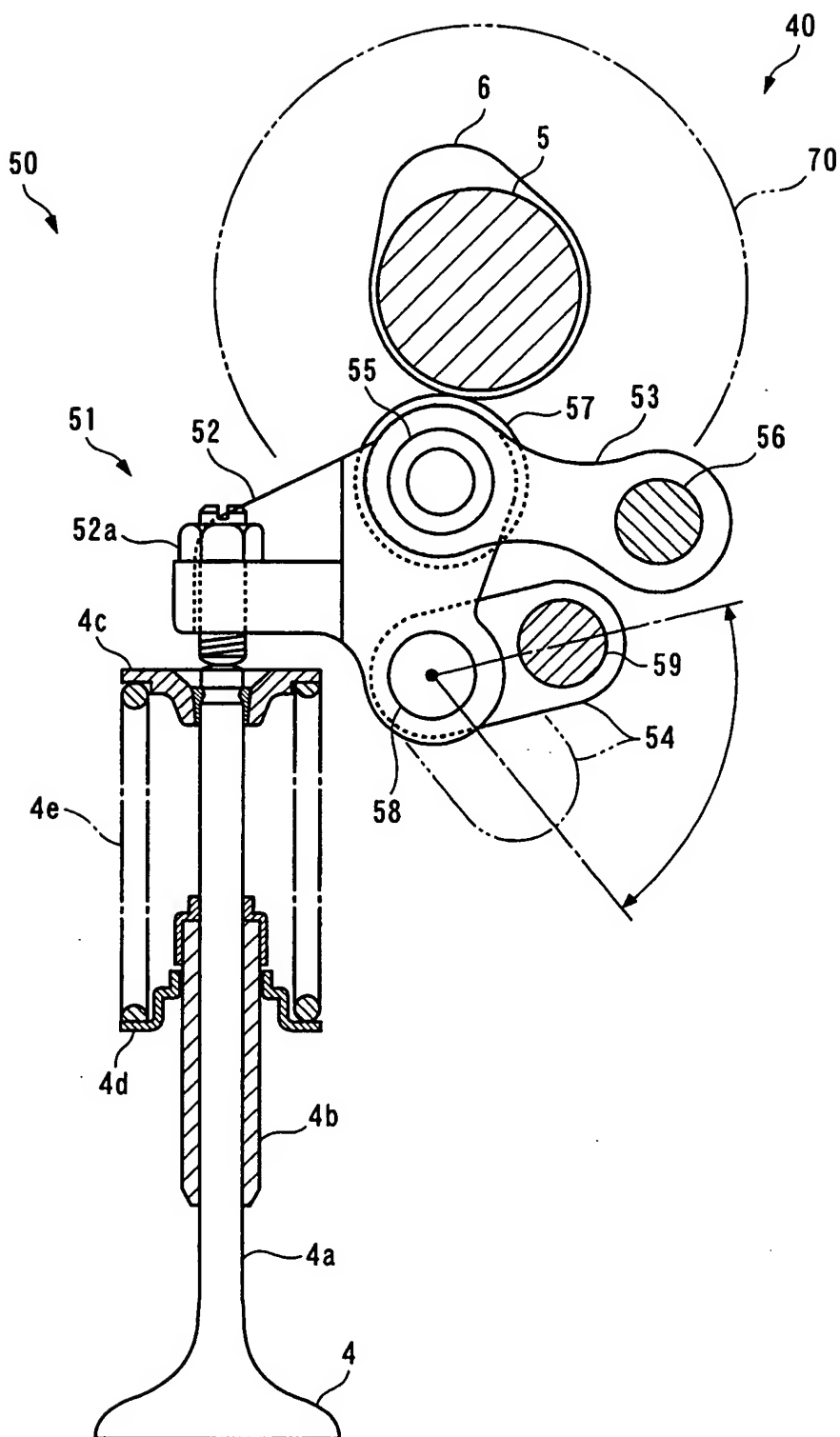


[図2]

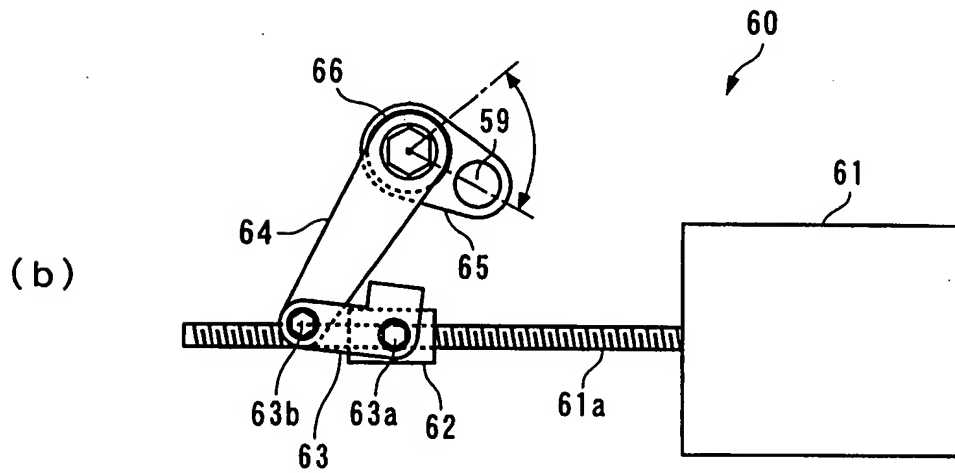
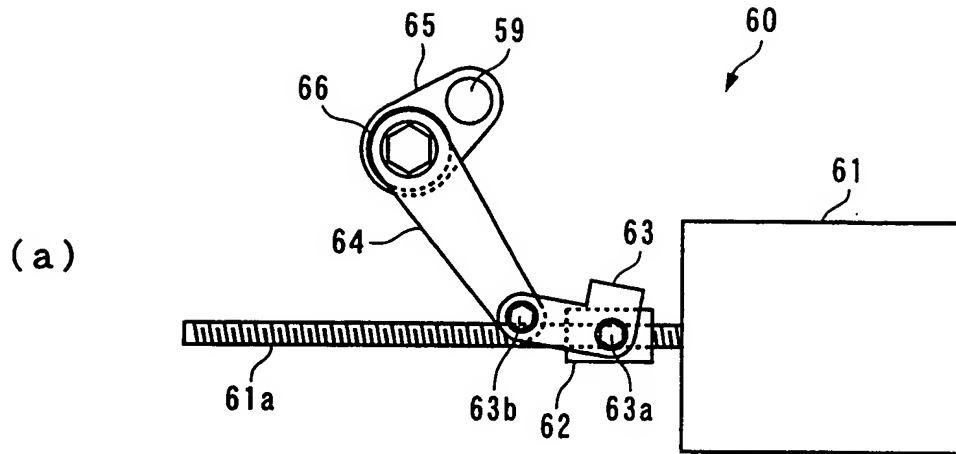


[図3]

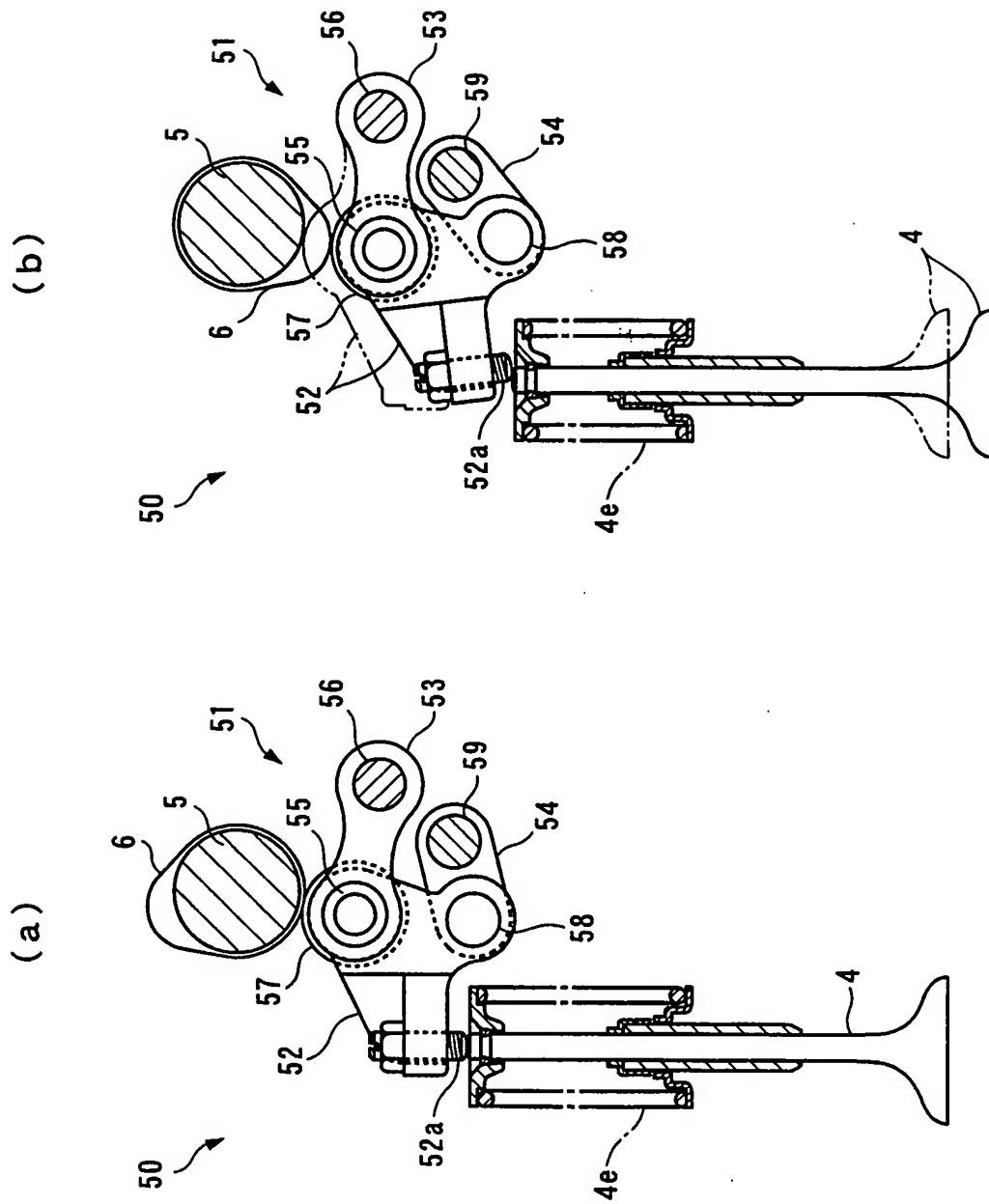




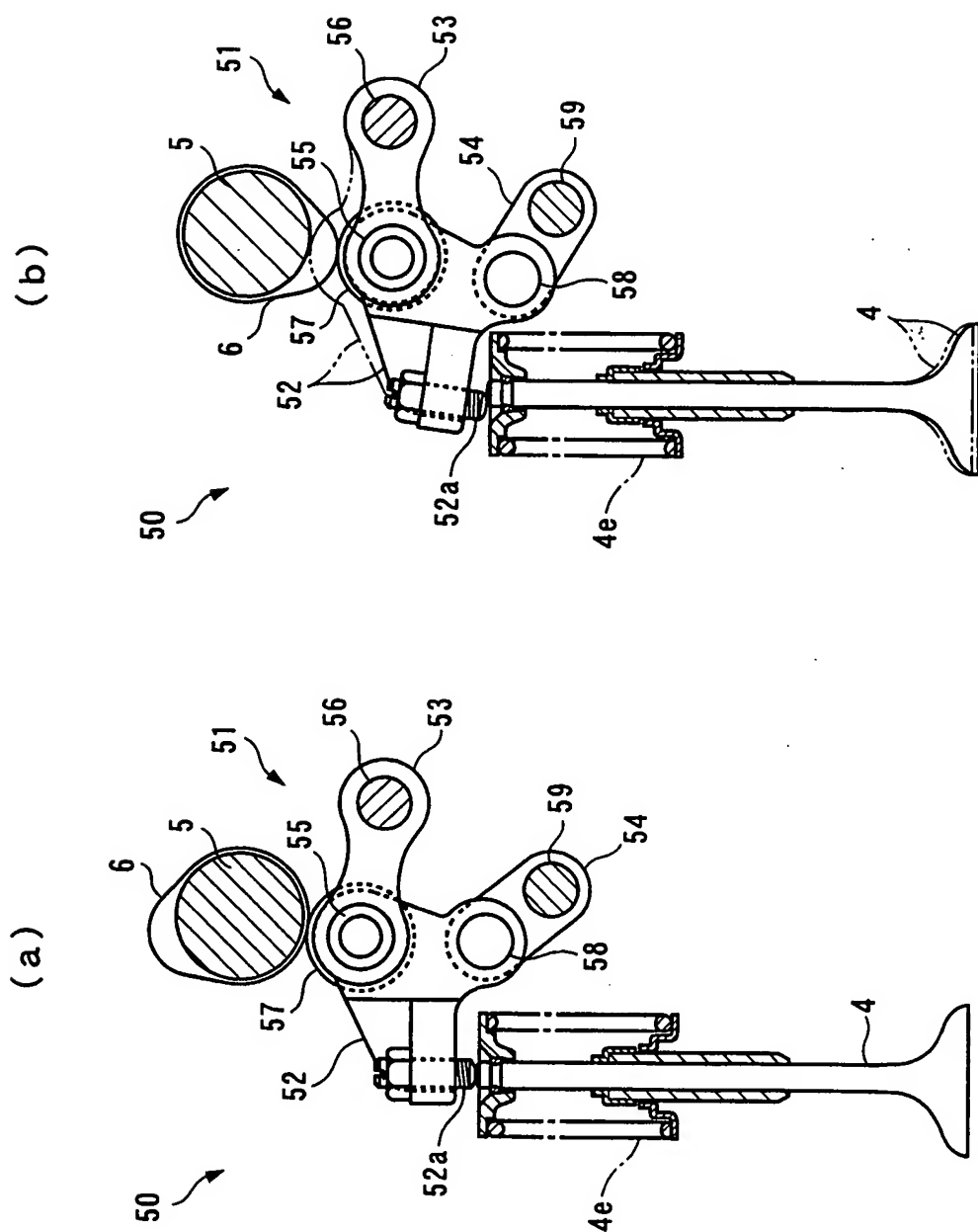
[図5]



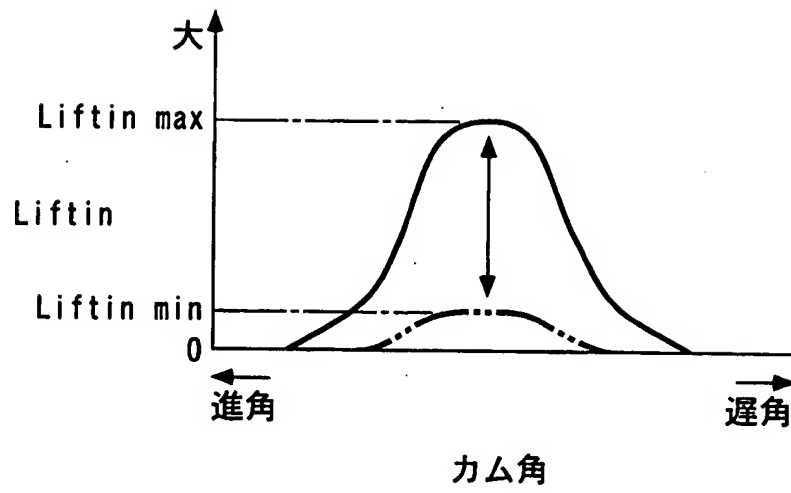
[図6]



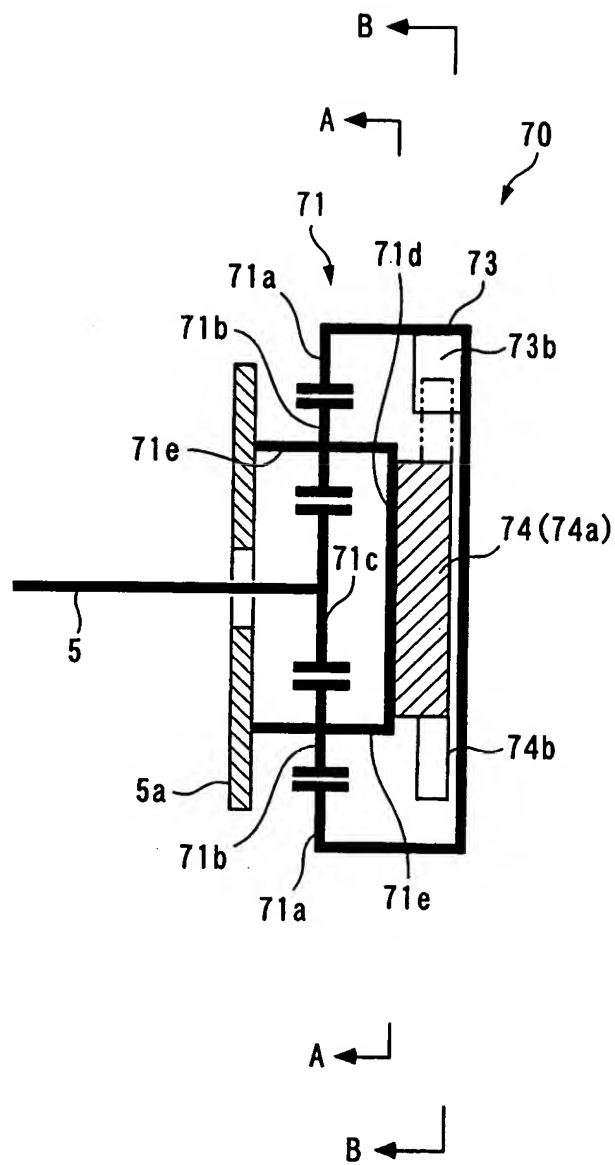
[図7]



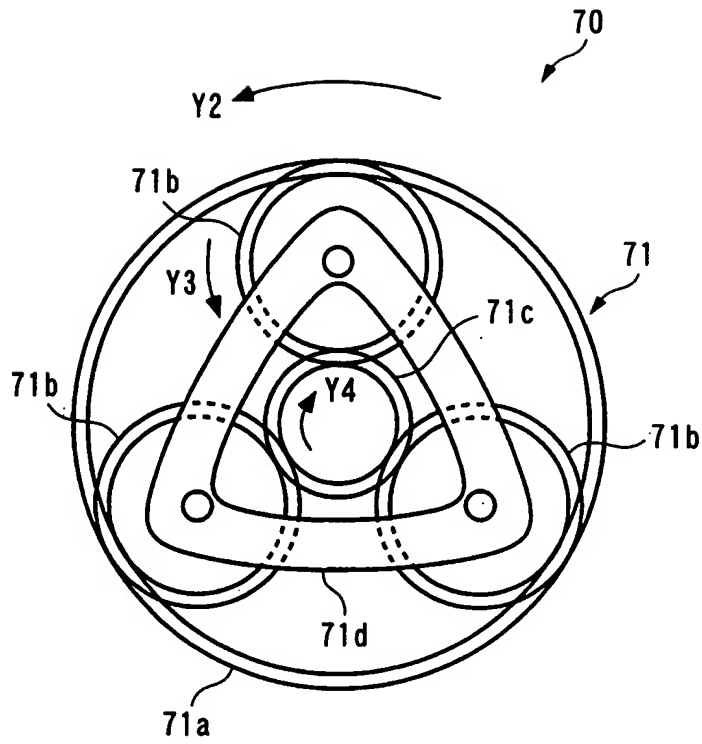
[図8]



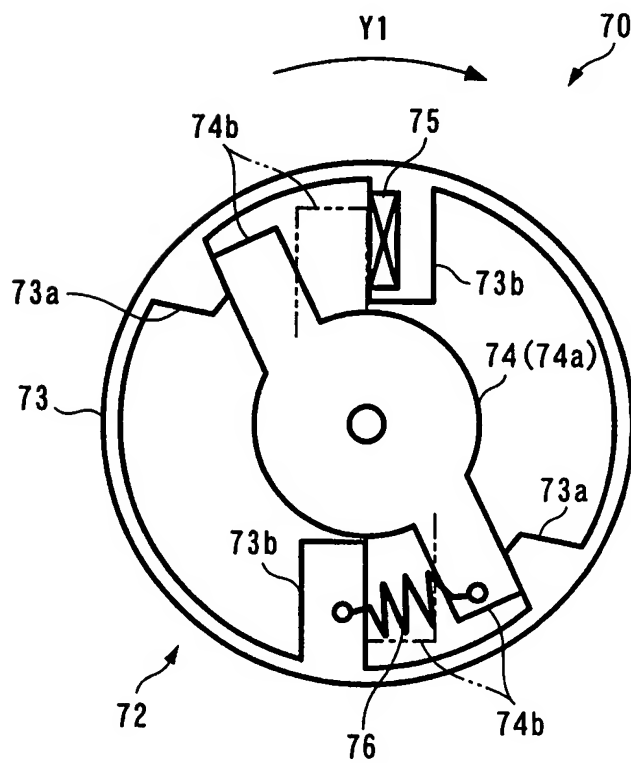
[図9]



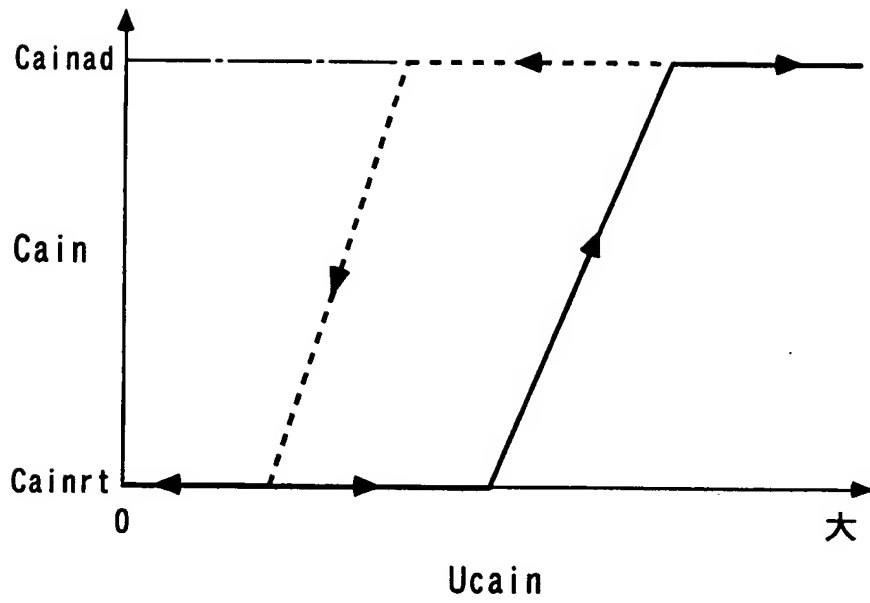
[図10]



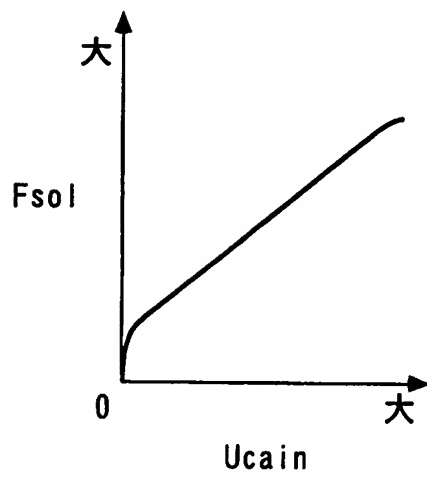
[図11]



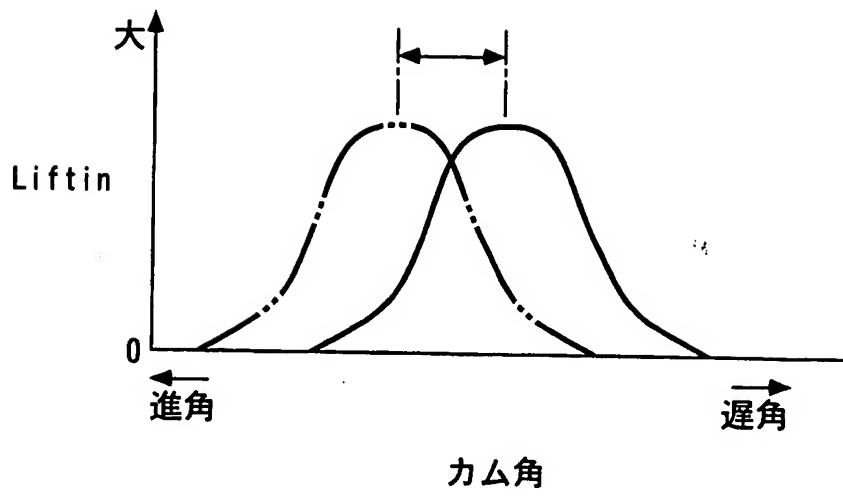
[图12]



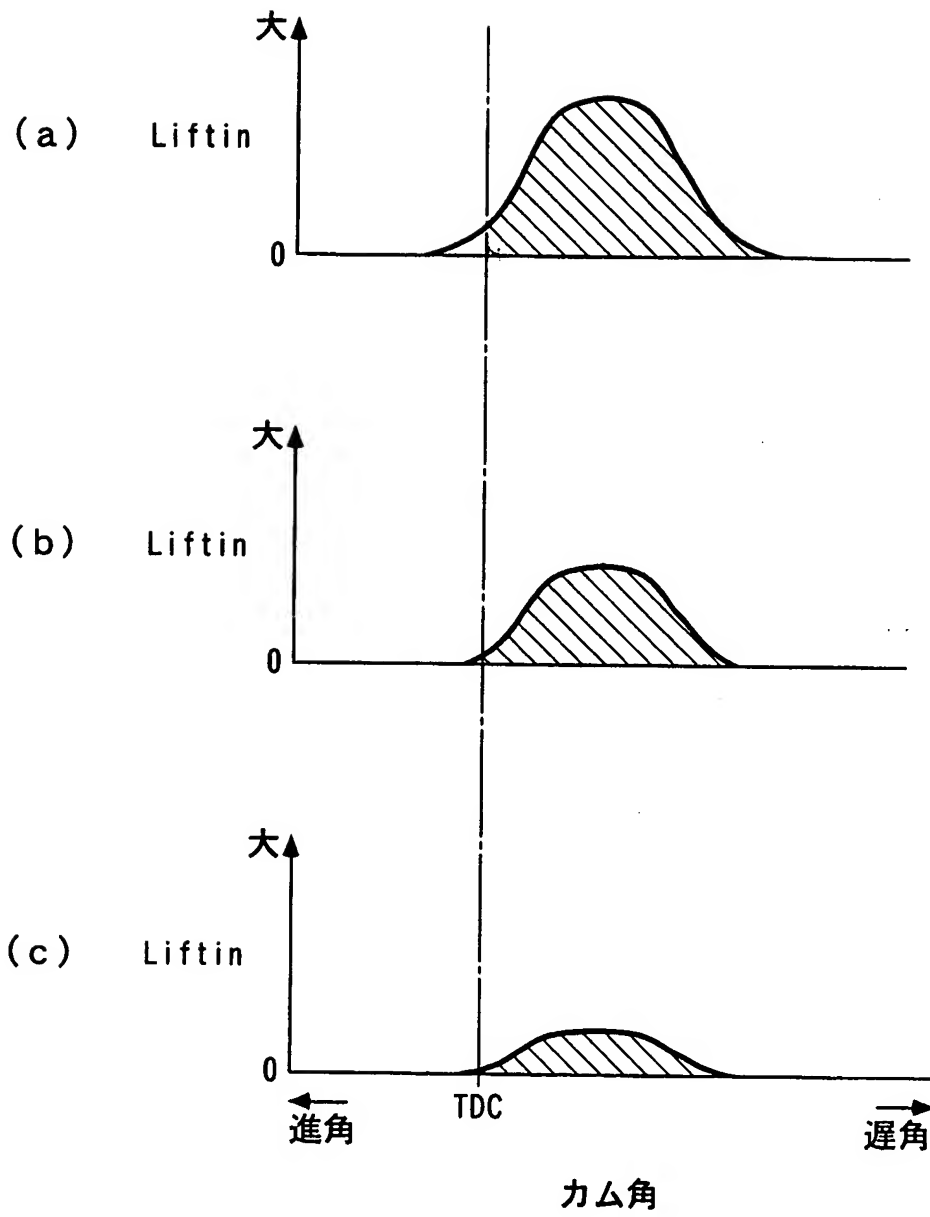
[图13]



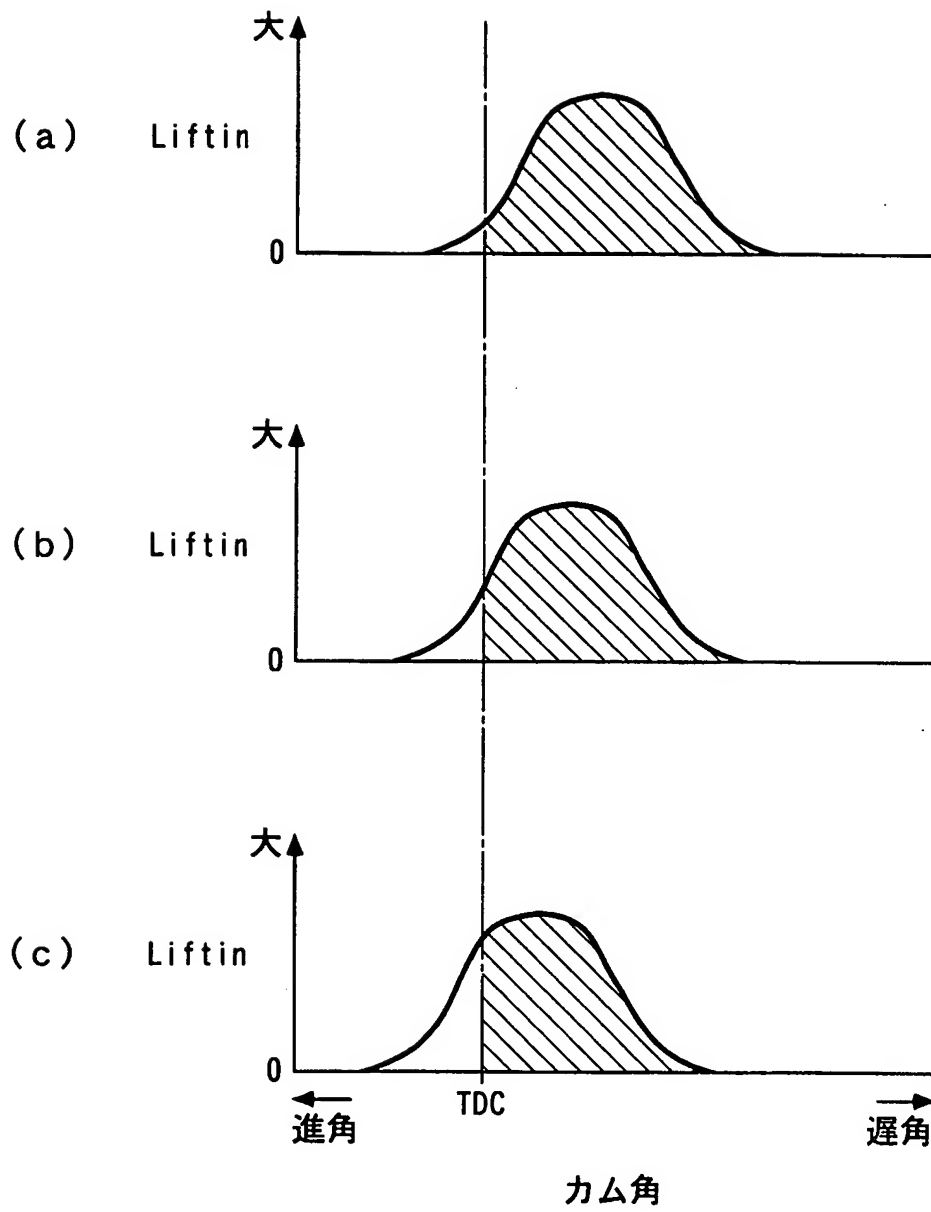
[図14]



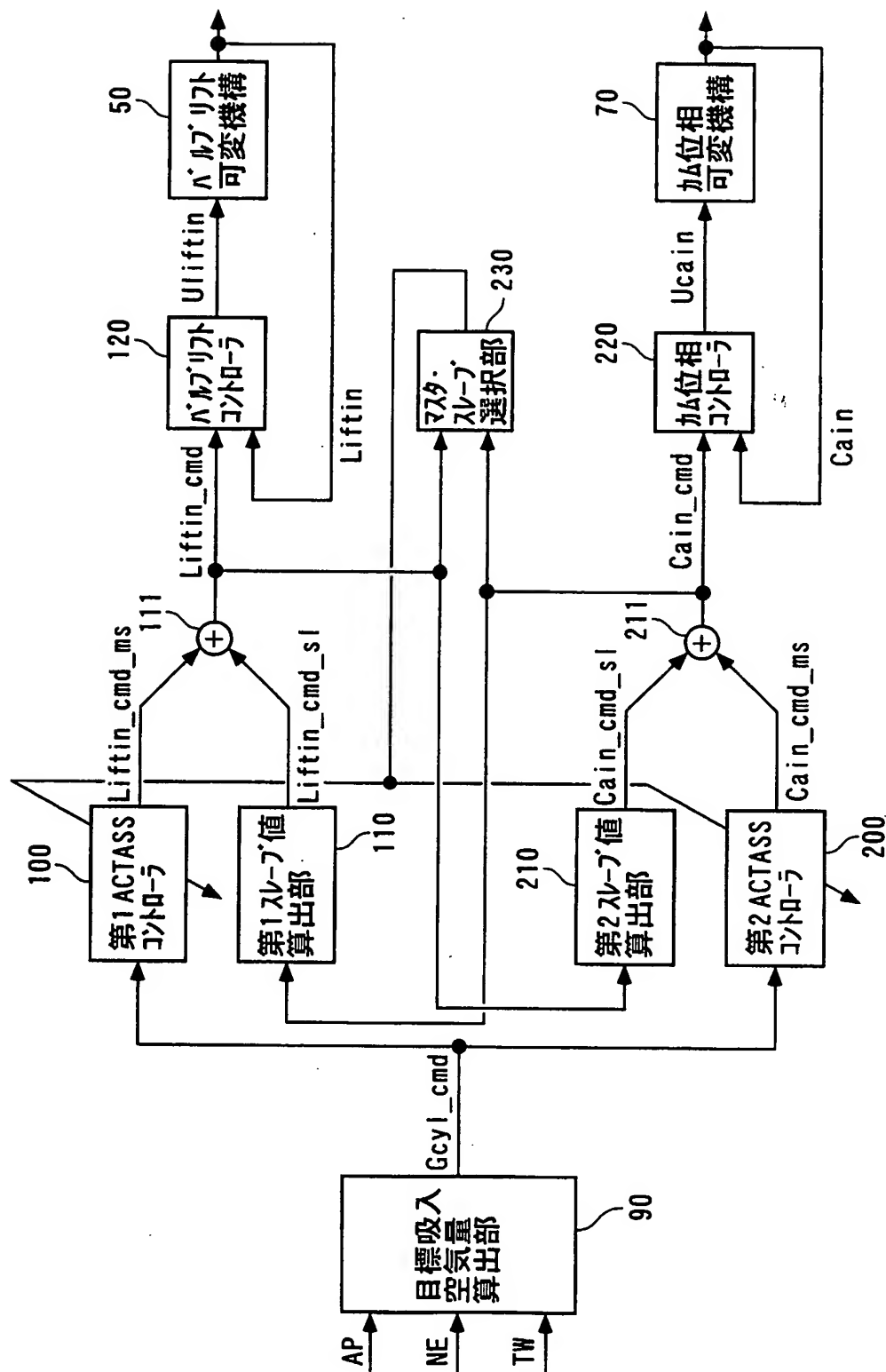
[図15]



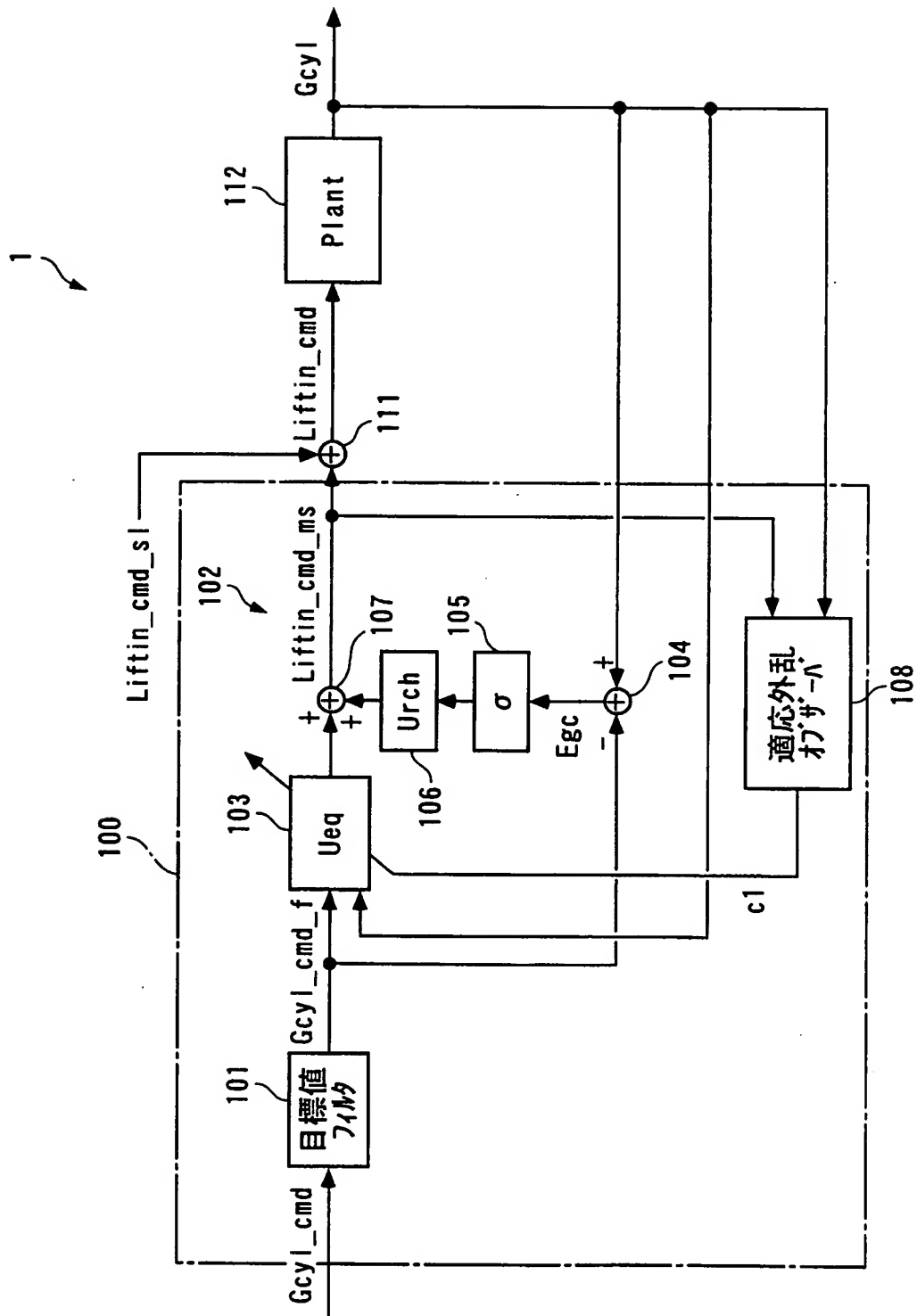
[図16]



[図17]



[図18]



[図19]

$$Gcyl(k) = Gth(k) - \frac{VB \cdot [PBA(k) - PBA(k-1)]}{R \cdot TB} \quad \dots\dots (1)$$

$$Gcyl_cmd_f(k) = -POLE_f \cdot Gcyl_cmd_f(k-1) + (1 + POLE_f) \cdot Gcyl_cmd(k) \quad \dots\dots (2)$$

$$Liftin_cmd_ms(k) = Ueq(k) + Urch(k) \quad \dots\dots (3)$$

$$Ueq(k) = \frac{1}{b1} \{ (1 - a1 - POLE) \cdot Gcyl(k) + (POLE - a2) \cdot Gcyl(k-1) \\ - b2 \cdot Liftin_cmd_ms(k-1) - c1(k) + Gcyl_cmd_f(k+1) \\ + (POLE - 1) \cdot Gcyl_cmd_f(k) - POLE \cdot Gcyl_cmd_f(k-1) \} \quad \dots\dots (4)$$

$$Urch(k) = - \frac{Krch}{b1} \cdot \sigma(k) \quad \dots\dots (5)$$

$$\sigma(k) = Egc(k) + POLE \cdot Egc(k-1) \quad \dots\dots (6)$$

$$Egc(k) = Gcyl(k) - Gcyl_cmd_f(k) \quad \dots\dots (7)$$

$$Gcyl(k+1) = a1 \cdot Gcyl(k) + a2 \cdot Gcyl(k-1) \\ + b1 \cdot Liftin_cmd(k) + b2 \cdot Liftin_cmd(k-1) \quad \dots\dots (8)$$

$$Gcyl(k+1) = a1 \cdot Gcyl(k) + a2 \cdot Gcyl(k-1) \\ + b1 \cdot Liftin_cmd_ms(k) + b2 \cdot Liftin_cmd_ms(k-1) \quad \dots\dots (9)$$

[図20]

$$c1(k) = c1(k-1) + \frac{Pdov}{1+Pdov} \cdot e_dov(k) \quad \dots\dots (1\ 0)$$

$$e_dov(k) = Gcyl(k) - Gcyl_hat(k) \quad \dots\dots (1\ 1)$$

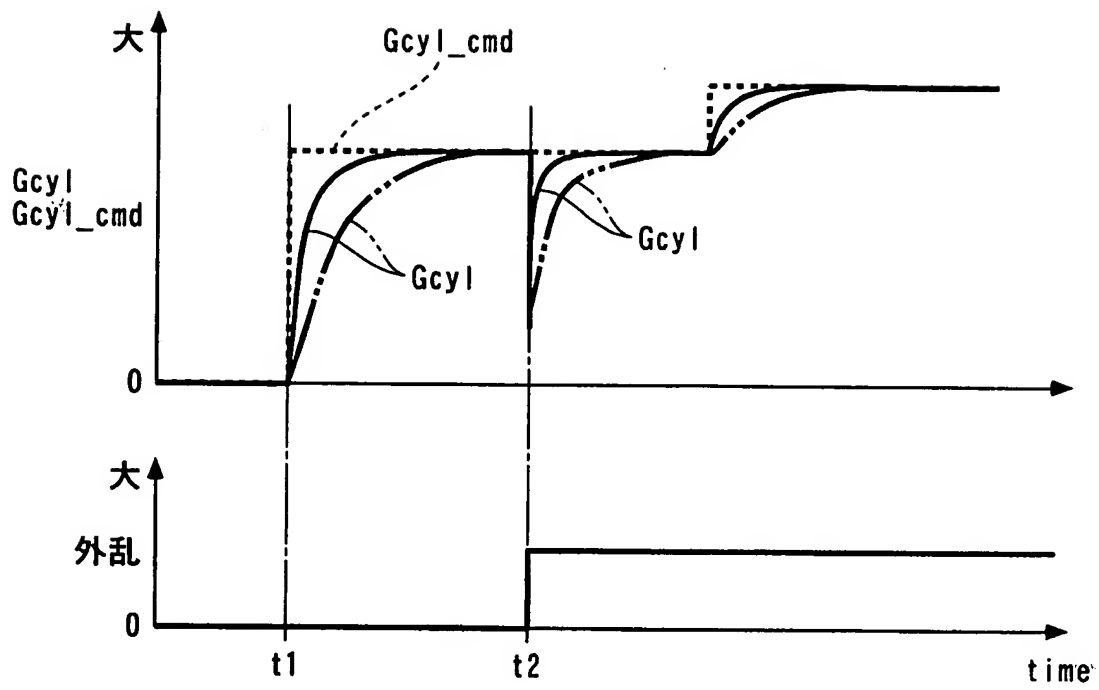
$$Gcyl_hat(k) = \theta(k-1)^T \cdot \zeta(k) \quad \dots\dots (1\ 2)$$

$$\theta(k)^T = [a1, a2, b1, b2, c1(k)] \quad \dots\dots (1\ 3)$$

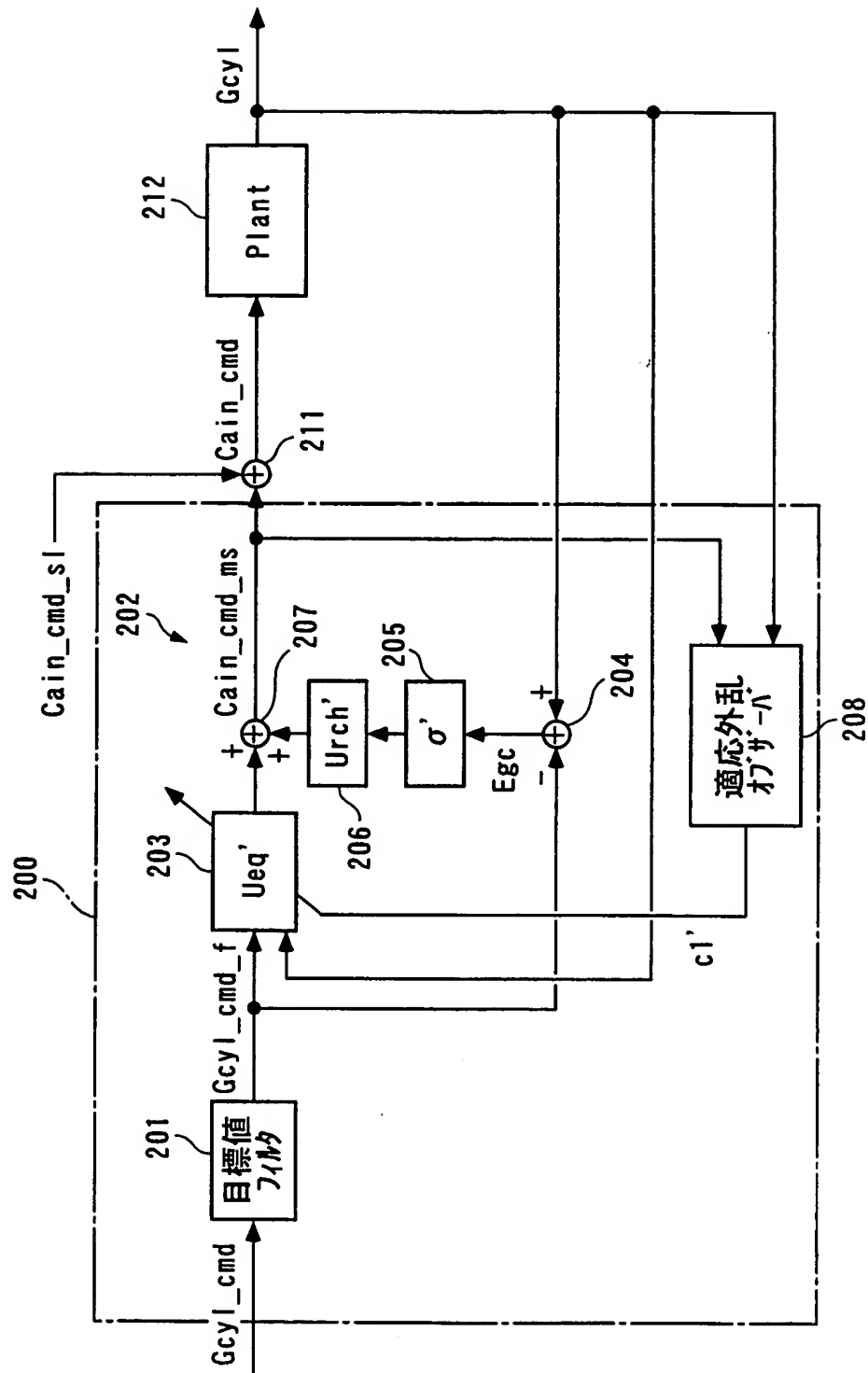
$$\zeta(k)^T = [Gcyl(k-1), Gcyl(k-2), Liftin_cmd_ms(k-1), Liftin_cmd_ms(k-2), 1] \quad \dots\dots (1\ 4)$$

$$\begin{aligned} c1(k) = & -Krch \cdot \sigma(k) + (1-a1-POLE) \cdot Gcyl(k) + (POLE-a2) \cdot Gcyl(k-1) \\ & -b2 \cdot Liftin_cmd_ms(k-1) + Gcyl_cmd_f(k+1) \\ & + (POLE-1) \cdot Gcyl_cmd_f(k) - POLE \cdot Gcyl_cmd_f(k-1) \quad \dots\dots (1\ 5) \end{aligned}$$

[図21]



[図22]



[図23]

$$\text{Gcyl_cmd_f}(k) = -\text{POLE_f} \cdot \text{Gcyl_cmd_f}(k-1) + (1 + \text{POLE_f}) \cdot \text{Gcyl_cmd}(k) \quad \dots\dots (16)$$

$$\text{Cain_cmd_ms}(k) = \text{Ueq}'(k) + \text{Urch}'(k) \quad \dots\dots (17)$$

$$\begin{aligned} \text{Ueq}'(k) = \frac{1}{b1'} \{ & (1 - a1' - \text{POLE}') \cdot \text{Gcyl}(k) + (\text{POLE}' - a2') \cdot \text{Gcyl}(k-1) \\ & - b2' \cdot \text{Cain_cmd_ms}(k-1) - c1'(k) + \text{Gcyl_cmd_f}(k+1) \\ & + (\text{POLE}' - 1) \cdot \text{Gcyl_cmd_f}(k) - \text{POLE}' \cdot \text{Gcyl_cmd_f}(k-1) \} \end{aligned} \quad \dots\dots (18)$$

$$\text{Urch}'(k) = - \frac{\text{Krch}'}{b1'} \cdot \sigma'(k) \quad \dots\dots (19)$$

$$\sigma'(k) = \text{Egc}(k) + \text{POLE}' \cdot \text{Egc}(k-1) \quad \dots\dots (20)$$

$$\text{Egc}(k) = \text{Gcyl}(k) - \text{Gcyl_cmd_f}(k) \quad \dots\dots (21)$$

$$\begin{aligned} \text{Gcyl}(k+1) = & a1' \cdot \text{Gcyl}(k) + a2' \cdot \text{Gcyl}(k-1) \\ & + b1' \cdot \text{Cain_cmd}(k) + b2' \cdot \text{Cain_cmd}(k-1) \end{aligned} \quad \dots\dots (22)$$

$$\begin{aligned} \text{Gcyl}(k+1) = & a1' \cdot \text{Gcyl}(k) + a2' \cdot \text{Gcyl}(k-1) \\ & + b1' \cdot \text{Cain_cmd_ms}(k) + b2' \cdot \text{Cain_cmd_ms}(k-1) \end{aligned} \quad \dots\dots (23)$$

[24]

$$c1'(k) = c1'(k-1) + \frac{Pdov'}{1+Pdov'} \cdot e_dov'(k) \quad \dots\dots (24)$$

$$e_dov'(k) = Gcyl(k) - Gcyl_hat'(k) \quad \dots\dots (25)$$

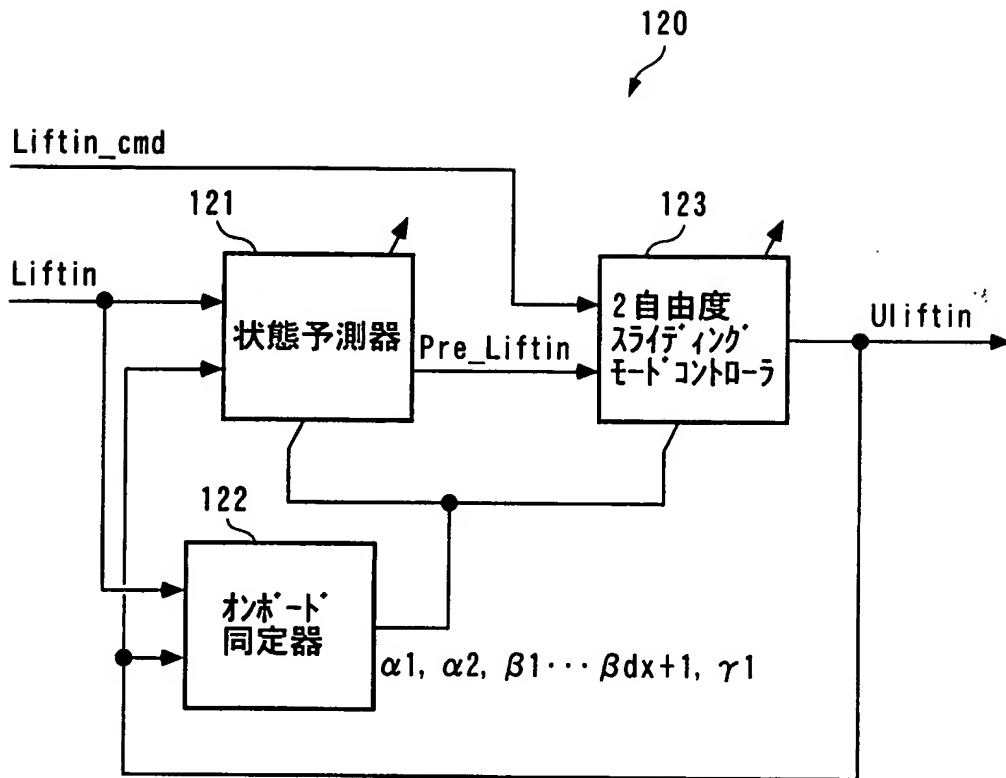
$$Gcyl_hat'(k) = \theta'(k-1)^T \cdot \zeta'(k) \quad \dots\dots (26)$$

$$\theta'(k)^T = [a1', a2', b1', b2', c1'(k)] \quad \dots\dots (27)$$

$$\zeta'(k)^T = [Gcyl(k-1), Gcyl(k-2), Cain_cmd_ms(k-1), Cain_cmd_ms(k-2), 1] \quad \dots\dots (28)$$

$$\begin{aligned} c1'(k) = & -Krch' \cdot \sigma'(k) + (1-a1'-POLE') \cdot Gcyl(k) + (POLE'-a2') \cdot Gcyl(k-1) \\ & -b2' \cdot Cain_cmd_ms(k-1) + Gcyl_cmd_f(k+1) \\ & + (POLE'-1) \cdot Gcyl_cmd_f(k) - POLE' \cdot Gcyl_cmd_f(k-1) \quad \dots\dots (29) \end{aligned}$$

[図25]



[図26]

$$\begin{aligned} \text{Liftin}(n+1) &= a1^n \cdot \text{Liftin}(n) + a2^n \cdot \text{Liftin}(n-1) \\ &\quad + b1^n \cdot \text{Uliftin}(n-dx) + b2^n \cdot \text{Uliftin}(n-dx-1) \\ &\quad \dots\dots (3\ 0) \end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} a1^n & a2^n \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3\ 1)$$

$$B = \begin{bmatrix} b1^n & b2^n \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3\ 2)$$

$$\begin{aligned} \text{Liftin}(n+dx) &= \alpha1(n) \cdot \text{Liftin}(n) + \alpha2(n) \cdot \text{Liftin}(n-1) \\ &\quad + \beta1(n) \cdot \text{Uliftin}(n-1) + \beta2(n) \cdot \text{Uliftin}(n-2) \\ &\quad + \dots\dots + \beta dx(n) \cdot \text{Uliftin}(n-dx) \\ &\quad + \beta dx+1(n) \cdot \text{Uliftin}(n-dx-1) \quad \dots\dots (3\ 3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha1 &: A^{dx} \text{ の 1 行 1 列成分} \\ \alpha2 &: A^{dx} \text{ の 1 行 2 列成分} \\ \beta_j &: \begin{cases} A^{j-1} B \text{ の 1 行 1 列成分 (j=1)} \\ A^{j-1} B \text{ の 1 行 1 列成分} + A^{j-2} B \text{ の 1 行 2 列成分 (j=2\sim dx)} \\ A^{j-2} B \text{ の 1 行 2 列成分 (j=dx+1)} \end{cases} \\ (j=1\sim dx+1) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pre_Liftin}(n) &= \alpha1(n) \cdot \text{Liftin}(n) + \alpha2(n) \cdot \text{Liftin}(n-1) \\ &\quad + \beta1(n) \cdot \text{Uliftin}(n-1) + \beta2(n) \cdot \text{Uliftin}(n-2) \\ &\quad + \dots\dots + \beta dx(n) \cdot \text{Uliftin}(n-dx) \\ &\quad + \beta dx+1(n) \cdot \text{Uliftin}(n-dx-1) \\ &\quad + \gamma1(n) \quad \dots\dots (3\ 4) \end{aligned}$$

[図27]

$$\theta x(n) = \theta x(n-1) + KP(n) \cdot ide(n) \quad \dots\dots (35)$$

$$KP(n) = \frac{P(n) \cdot \zeta x(n)}{1 + \zeta x(n)^T \cdot P(n) \cdot \zeta x(n)} \quad \dots\dots (36)$$

$$P(n+1) = \frac{1}{\lambda 1} \left[I - \frac{\lambda 2 \cdot P(n) \cdot \zeta x(n) \cdot \zeta x(n)^T}{\lambda 1 + \lambda 2 \cdot \zeta x(n)^T \cdot P(n) \cdot \zeta x(n)} \right] \cdot P(n) \quad \dots\dots (37)$$

I : dx+2次の単位行列
 $\lambda 1, \lambda 2$: 重みパラメータ

$$\begin{aligned} ide(n) &= Liftin_hat(n) - Liftin(n) \\ &= \theta x(n-1)^T \cdot \zeta x(n) - Liftin(n) \end{aligned} \quad \dots\dots (38)$$

$$\theta x(n)^T = [\alpha 1(n), \alpha 2(n), \beta 1(n), \beta 2(n), \dots, \beta_{dx+1}(n), \gamma 1(n)] \quad \dots\dots (39)$$

$$\begin{aligned} \zeta x(n)^T &= [Liftin(n-dx), Liftin(n-dx-1), Uliftin(n-dx-1), \\ &\quad Uliftin(n-dx-2), \dots\dots, Uliftin(n-2dx-1), 1] \end{aligned} \quad \dots\dots (40)$$

[図28]

$$\begin{aligned} \text{Liftin_cmd_f}(n) = & -\text{POLE}'' \cdot \text{Liftin_cmd_f}(n-1) \\ & + (1 + \text{POLE}'') \cdot \text{Liftin_cmd}(n) \end{aligned} \quad \dots\dots (4.1)$$

$$\text{Uliftin}(n) = \text{Ueq}''(n) + \text{Urch}''(n) \quad \dots\dots (4.2)$$

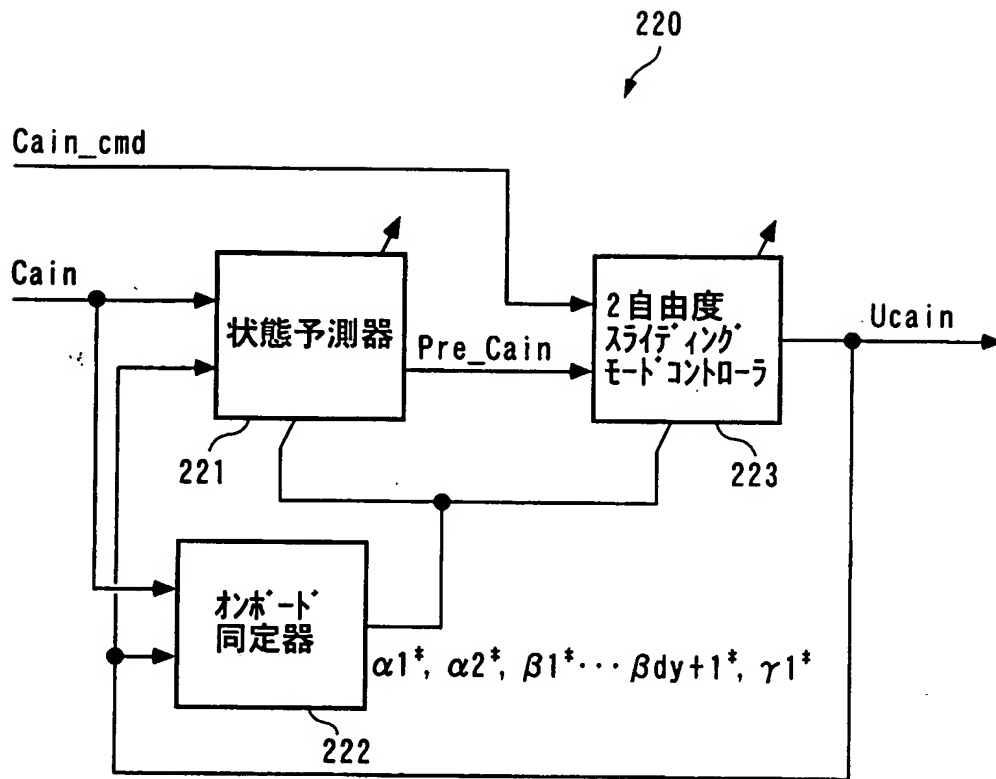
$$\begin{aligned} \text{Ueq}''(n) = & \frac{1}{\beta_1(n)} \{ -\text{POLE}'' \cdot \text{Pre_Liftin}(n) + \text{Pre_Liftin}(n-1) \\ & + \text{POLE}'' \cdot \text{Pre_Liftin}(n-2) - \alpha_1(n) \cdot \text{Pre_Liftin}(n-dx+1) \\ & - \alpha_2(n) \cdot \text{Pre_Liftin}(n-dx) - \beta_2(n) \cdot \text{Uliftin}(n-1) \\ & - \dots - \beta_{dx}(n) \cdot \text{Uliftin}(n-dx+1) \\ & - \beta_{dx+1}(n) \cdot \text{Uliftin}(n-dx) - \gamma_1(n) \\ & + \text{Liftin_cmd_f}(n) + \text{POLE}'' \cdot \text{Liftin_cmd_f}(n-1) \\ & - \text{Liftin_cmd_f}(n-1) - \text{POLE}'' \cdot \text{Liftin_cmd_f}(n-2) \} \end{aligned} \quad \dots\dots (4.3)$$

$$\text{Urch}''(n) = - \frac{\text{Krch}''}{\beta_1(n)} \cdot \text{Pre}_\sigma''(n) \quad \dots\dots (4.4)$$

$$\text{Pre}_\sigma''(n) = \text{Pre_E_lf}(n) + \text{POLE}'' \cdot \text{Pre_E_lf}(n-1) \quad \dots\dots (4.5)$$

$$\text{Pre_E_lf}(n) = \text{Pre_Liftin}(n) - \text{Liftin_cmd_f}(n) \quad \dots\dots (4.6)$$

[図29]



[図30]

$$\begin{aligned} \text{Cain}(n+1) = & a1^* \cdot \text{Cain}(n) + a2^* \cdot \text{Cain}(n-1) \\ & + b1^* \cdot \text{Ucain}(n-dy) + b2^* \cdot \text{Ucain}(n-dy-1) \end{aligned} \quad \dots\dots (47)$$

$$Ay = \begin{bmatrix} a1^* & a2^* \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (48)$$

$$By = \begin{bmatrix} b1^* & b2^* \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (49)$$

$$\begin{aligned} \text{Cain}(n+dy) = & \alpha1^*(n) \cdot \text{Cain}(n) + \alpha2^*(n) \cdot \text{Cain}(n-1) \\ & + \beta1^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-1) + \beta2^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-2) \\ & + \dots\dots + \beta dy^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-dy) \\ & + \beta dy+1^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-dy-1) \end{aligned} \quad \dots\dots (50)$$

$$\begin{aligned} \alpha1^* : & Ay^{dy} \text{の1行1列成分} \\ \alpha2^* : & Ay^{dy} \text{の1行2列成分} \\ \beta j^* : & \begin{cases} Ay^{j-1} By \text{の1行1列成分} (j=1) \\ Ay^{j-1} By \text{の1行1列成分} + Ay^{j-2} By \text{の1行2列成分} (j=2 \sim dy) \\ Ay^{j-2} By \text{の1行2列成分} (j=dy+1) \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pre_Cain}(n) = & \alpha1^*(n) \cdot \text{Cain}(n) + \alpha2^*(n) \cdot \text{Cain}(n-1) \\ & + \beta1^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-1) + \beta2^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-2) \\ & + \dots\dots + \beta dy^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-dy) \\ & + \beta dy+1^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-dy-1) \\ & + \gamma1^*(n) \end{aligned} \quad \dots\dots (51)$$

[図31]

$$\theta^*(n) = \theta^*(n-1) + KP^*(n) \cdot ide^*(n) \quad \dots\dots (5.2)$$

$$KP^*(n) = \frac{P^*(n) \cdot \zeta^*(n)}{1 + \zeta^*(n)^T \cdot P^*(n) \cdot \zeta^*(n)} \quad \dots\dots (5.3)$$

$$P^*(n+1) = \frac{1}{\lambda_1^*} \left[I - \frac{\lambda_2^* \cdot P^*(n) \cdot \zeta^*(n) \cdot \zeta^*(n)^T}{\lambda_1^* + \lambda_2^* \cdot \zeta^*(n)^T \cdot P^*(n) \cdot \zeta^*(n)} \right] \cdot P^*(n) \quad \dots\dots (5.4)$$

I : dy+2次の単位行列
 λ_1^*, λ_2^* : 重みパラメータ

$$\begin{aligned} ide^*(n) &= Cain_hat(n) - Cain(n) \\ &= \theta^*(n-1)^T \cdot \zeta^*(n) - Cain(n) \end{aligned} \quad \dots\dots (5.5)$$

$$\theta^*(n)^T = [\alpha_1^*(n), \alpha_2^*(n), \beta_1^*(n), \beta_2^*(n), \dots, \beta_{dy+1}^*(n), \gamma_1^*(n)] \quad \dots\dots (5.6)$$

$$\zeta^*(n)^T = [Cain(n-dy), Cain(n-dy-1), Cain(n-dy-2), \dots, Cain(n-2dy-1), 1] \quad \dots\dots (5.7)$$

[図32]

$$\text{Cain_cmd_f}(n) = -\text{POLE_f}^* \cdot \text{Cain_cmd_f}(n-1) + (1 + \text{POLE_f}^*) \cdot \text{Cain_cmd}(n) \quad \dots\dots (58)$$

$$\text{Ucain}(n) = \text{Ueq}^*(n) + \text{Urch}^*(n) \quad \dots\dots (59)$$

$$\begin{aligned} \text{Ueq}^*(n) = \frac{1}{\beta 1^*(n)} \{ & -\text{POLE}^* \cdot \text{Pre_Cain}(n) + \text{Pre_Cain}(n-1) \\ & + \text{POLE}^* \cdot \text{Pre_Cain}(n-2) - \alpha 1^*(n) \cdot \text{Pre_Cain}(n-dy+1) \\ & - \alpha 2^*(n) \cdot \text{Pre_Cain}(n-dy) - \beta 2^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-1) \\ & - \dots - \beta dy^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-dy+1) \\ & - \beta dy+1^*(n) \cdot \text{Ucain}(n-dy) - \gamma 1^*(n) \\ & + \text{Cain_cmd_f}(n) + \text{POLE}^* \cdot \text{Cain_cmd_f}(n-1) \\ & - \text{Cain_cmd_f}(n-1) - \text{POLE}^* \cdot \text{Cain_cmd_f}(n-2) \} \end{aligned} \quad \dots\dots (60)$$

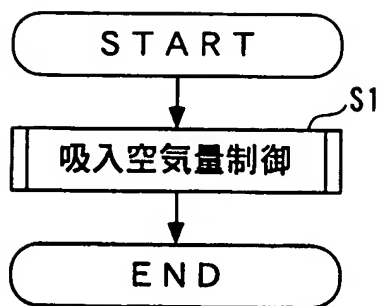
$$\text{Urch}^*(n) = -\frac{\text{Krch}^*}{\beta 1^*(n)} \cdot \text{Pre}_\sigma^*(n) \quad \dots\dots (61)$$

$$\text{Pre}_\sigma^*(n) = \text{Pre_E_ca}^*(n) + \text{POLE}^* \cdot \text{Pre_E_ca}^*(n-1) \quad \dots\dots (62)$$

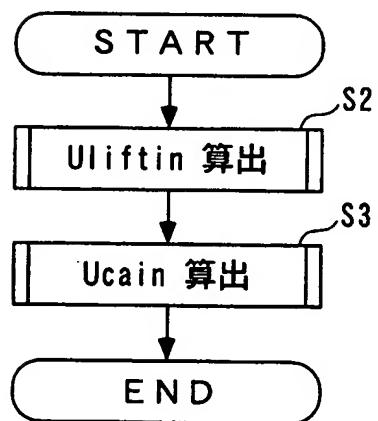
$$\text{Pre_E_ca}^*(n) = \text{Pre_Cain}(n) - \text{Cain_cmd_f}(n) \quad \dots\dots (63)$$

[図33]

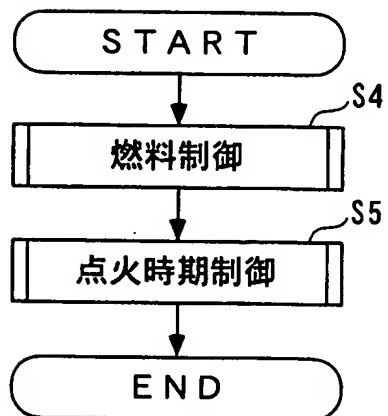
(a)



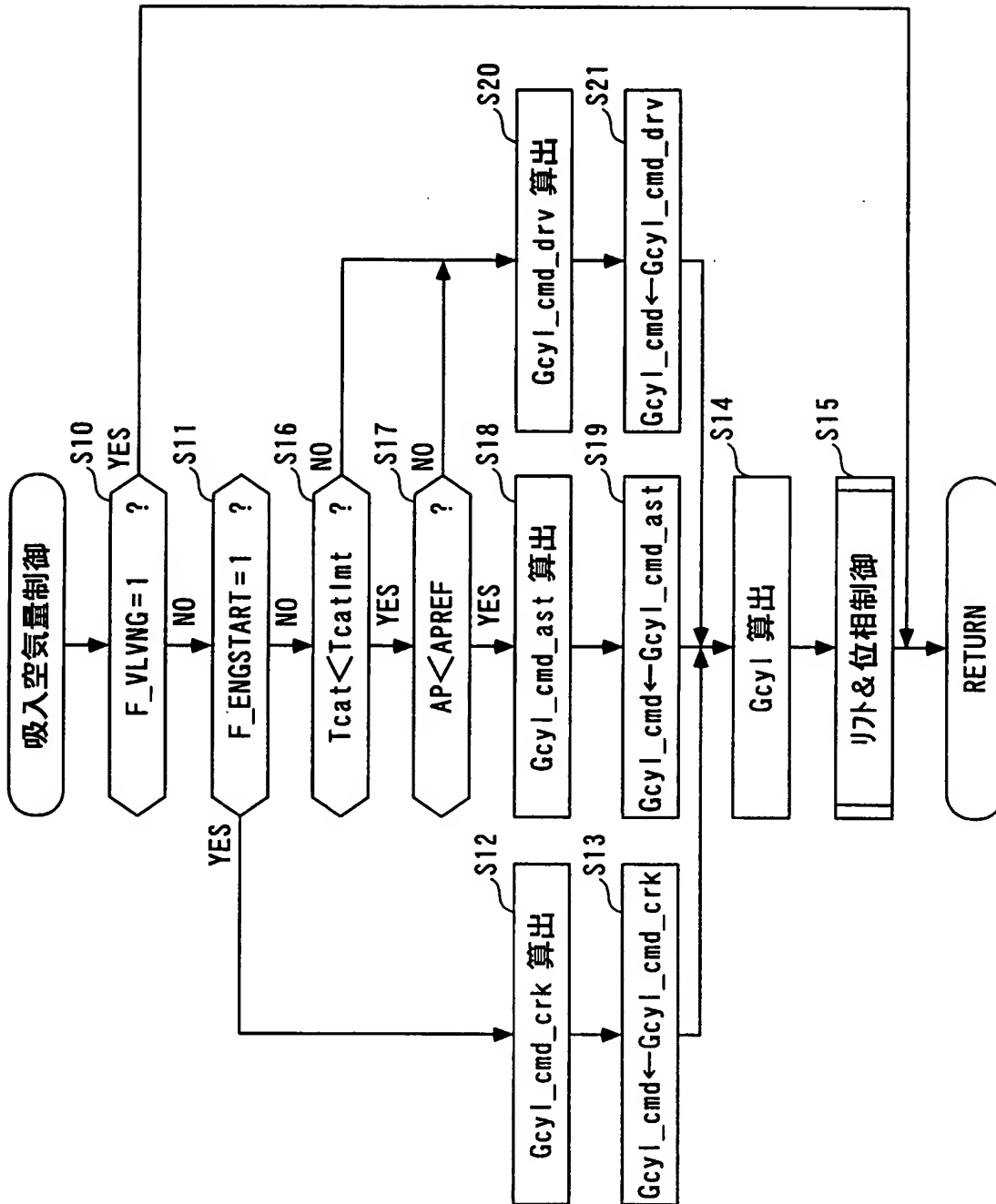
(b)



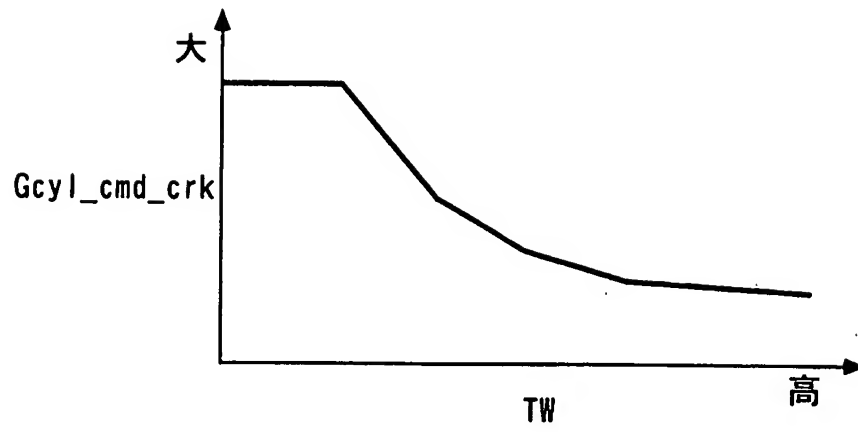
(c)



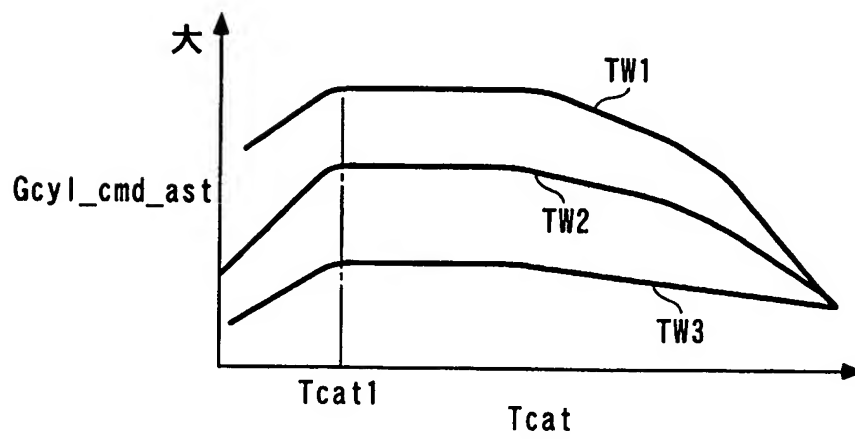
[図34]



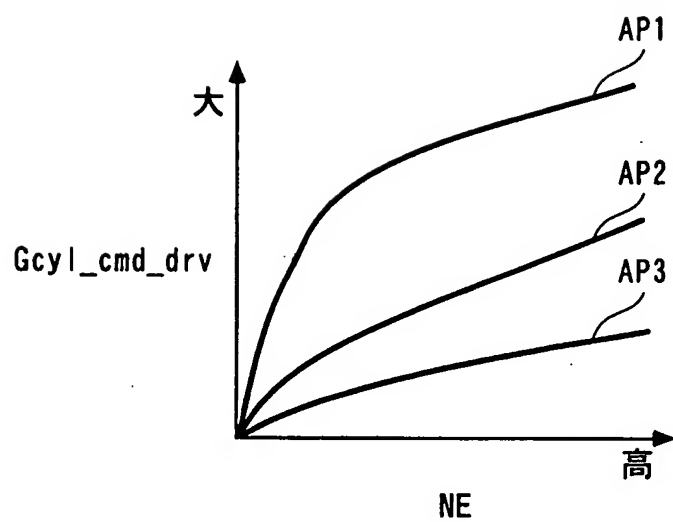
[図35]



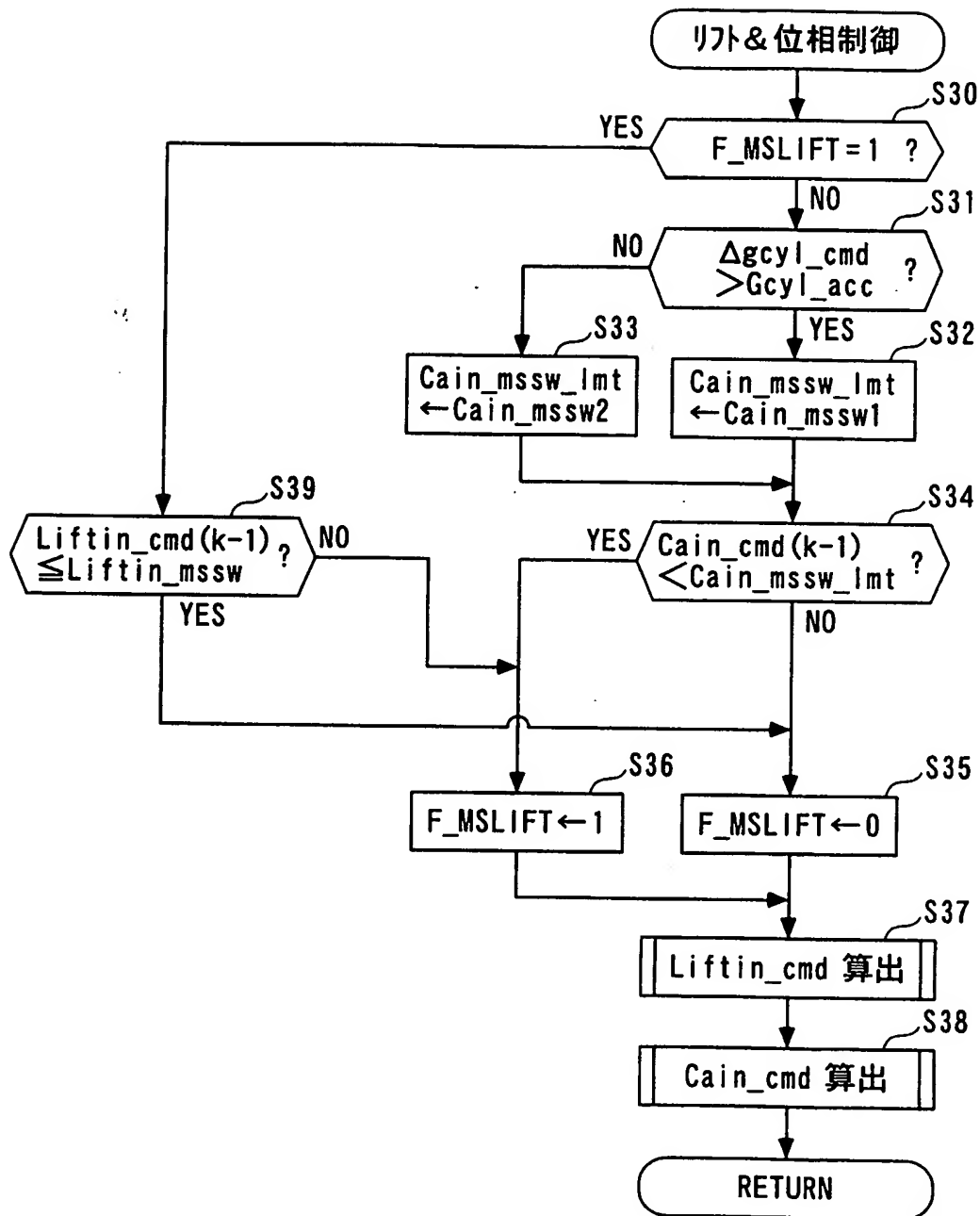
[図36]



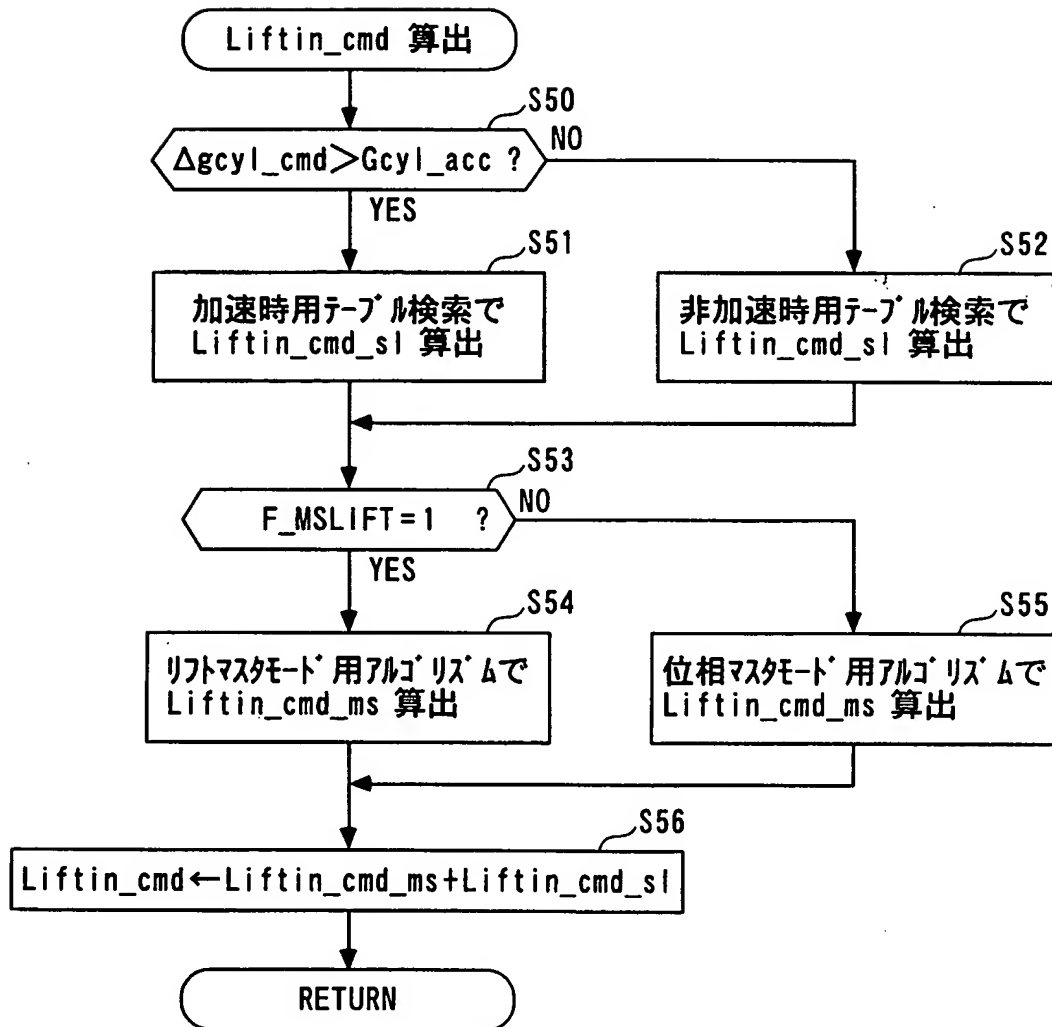
[図37]



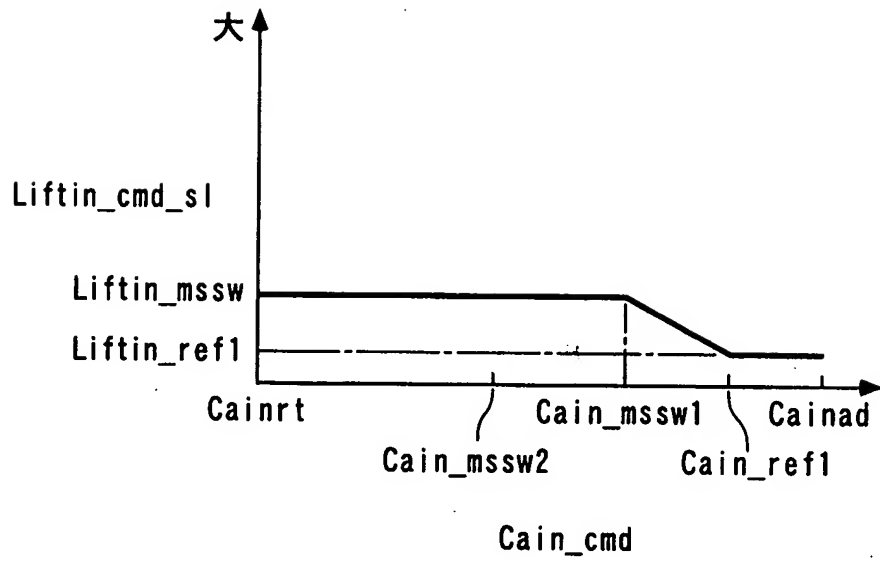
[図38]



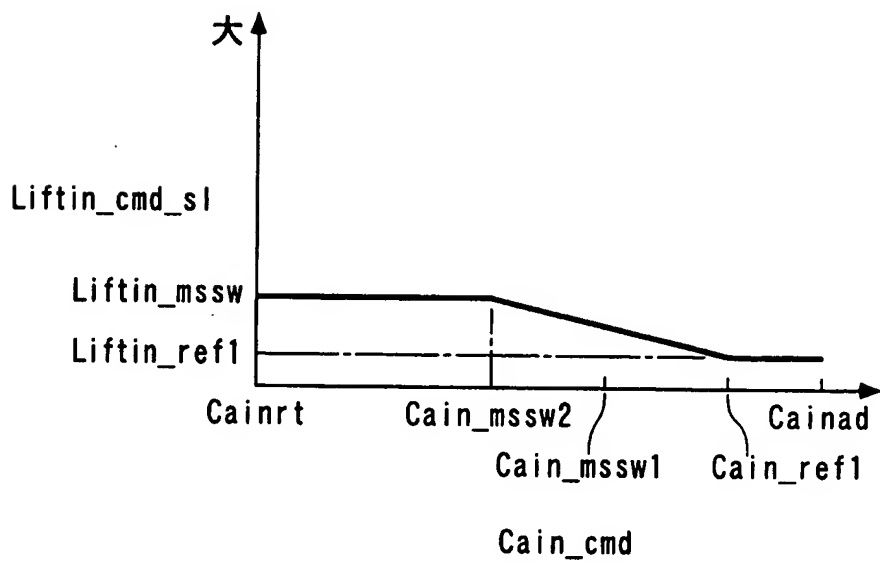
[図39]



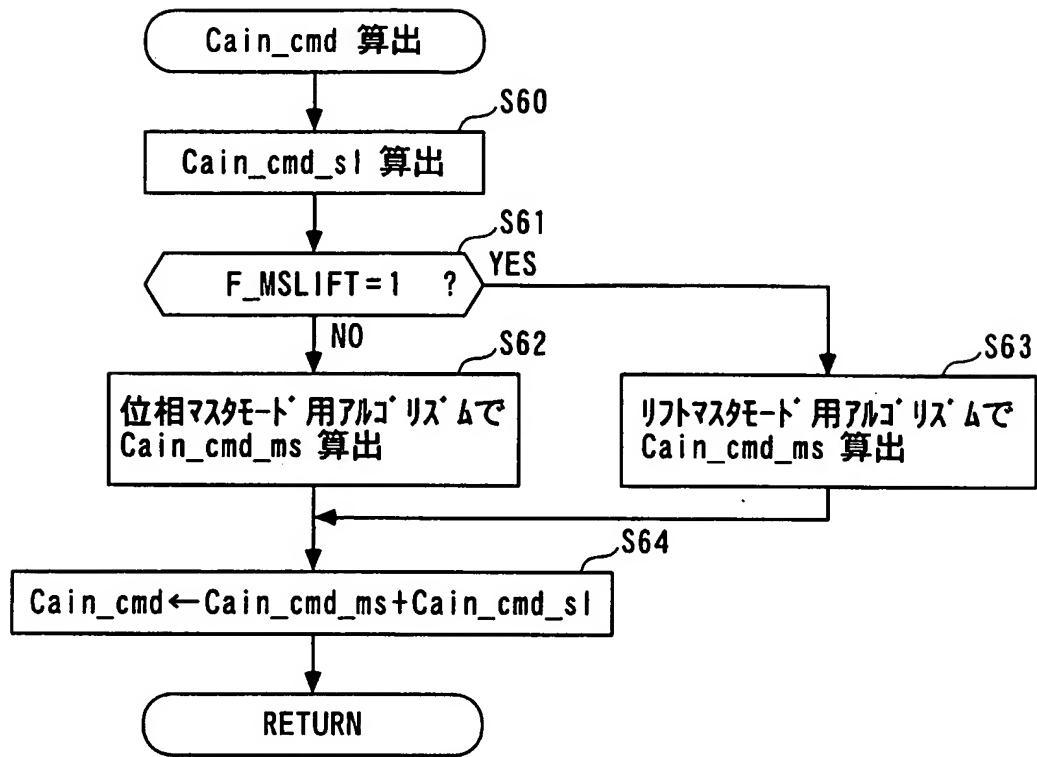
[図40]



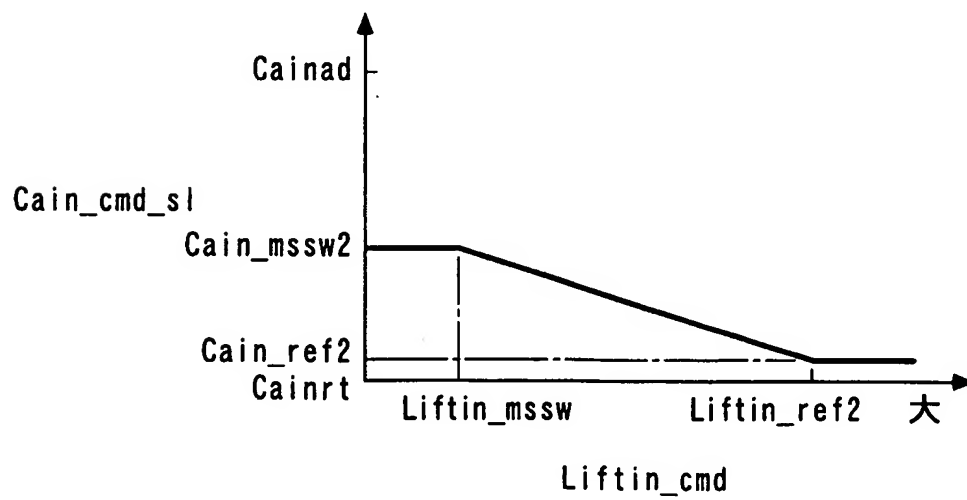
[図41]



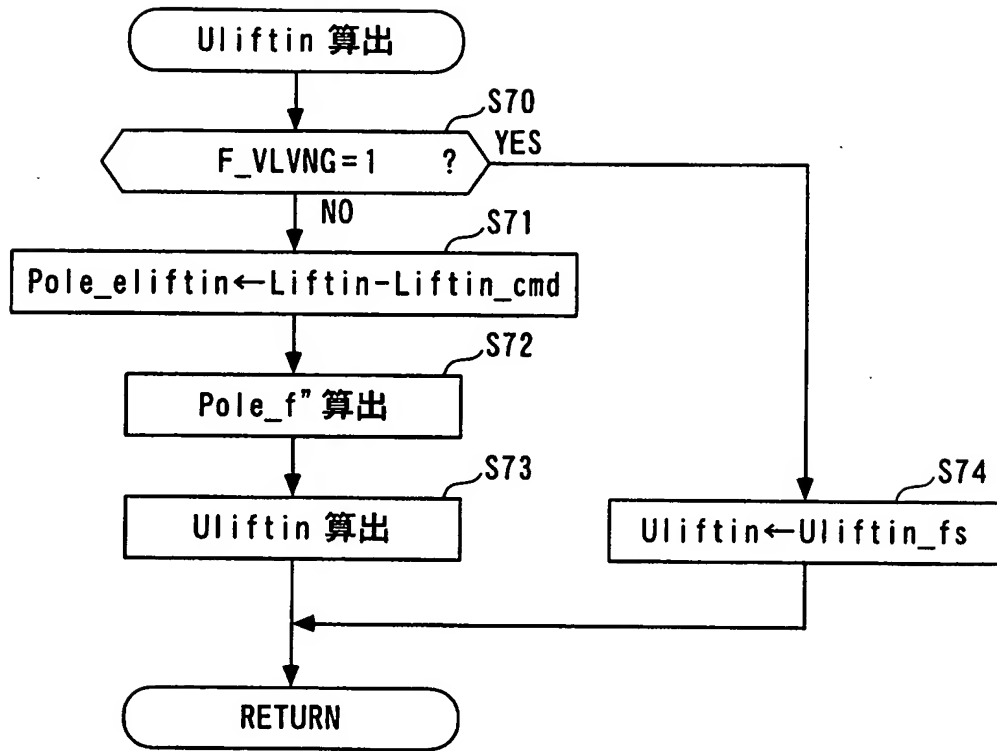
[図42]



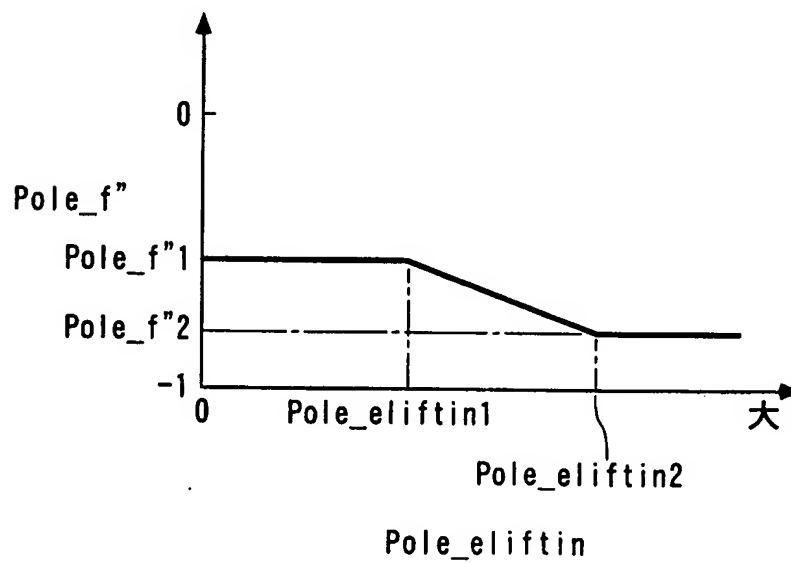
[図43]



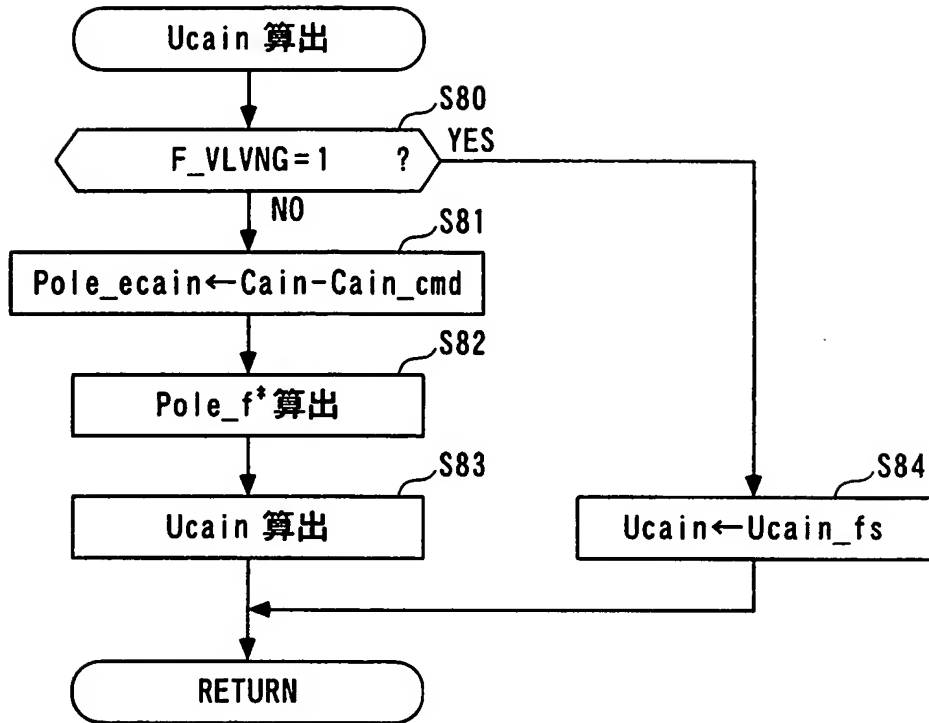
[図44]



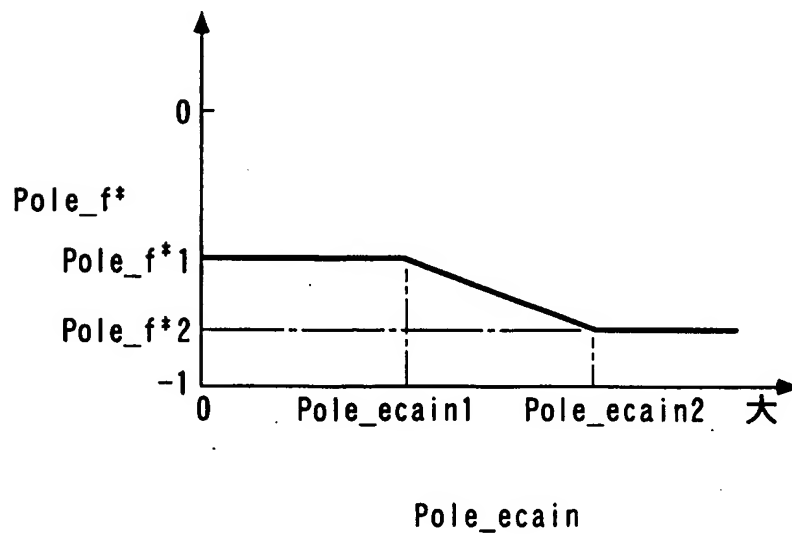
[図45]



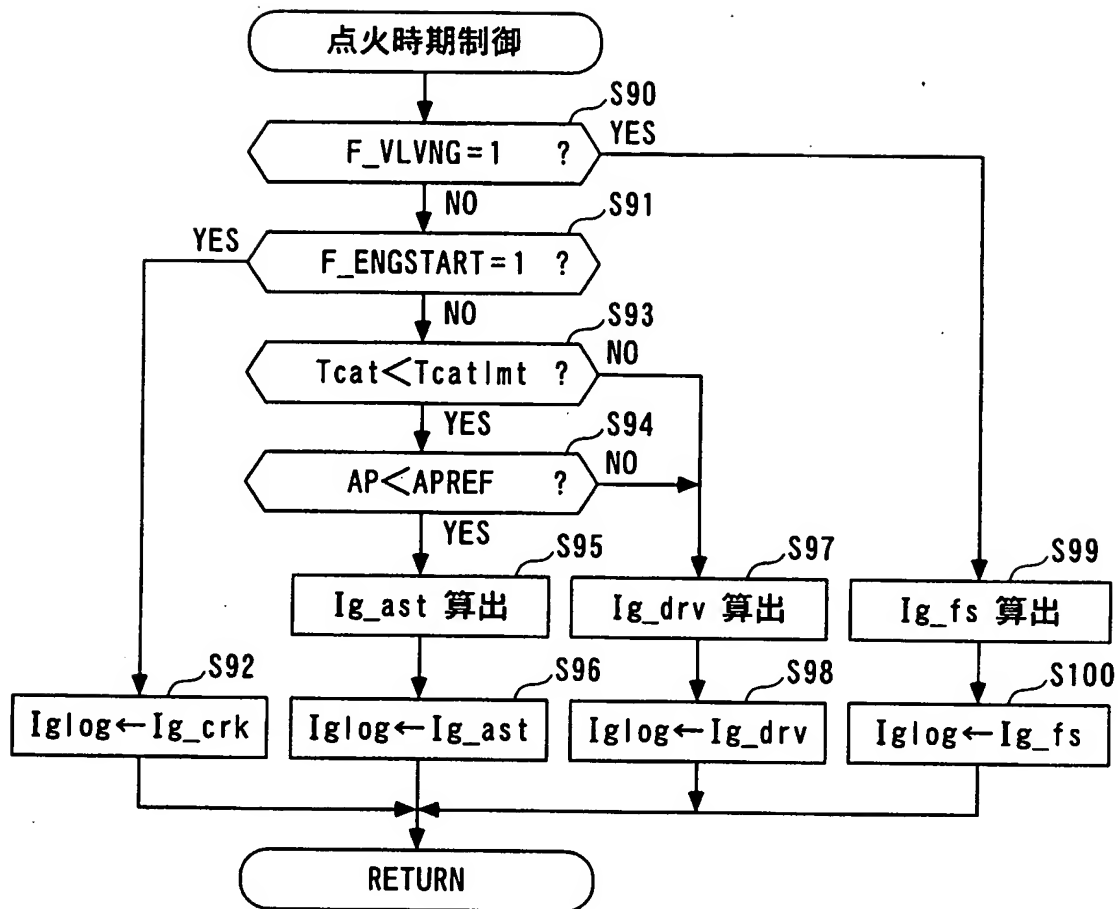
[図46]



[図47]



[図48]



[図49]

$$Ig_ast = Ig_ast_base - Krch^{\#} \cdot \sigma^{\#}(m) - Kadp^{\#} \sum_{i=0}^m \sigma^{\#}(i) \quad \dots\dots (64)$$

$$\sigma^{\#}(m) = Enast(m) + POLE^{\#} \cdot Enast(m-1) \quad \dots\dots (65)$$

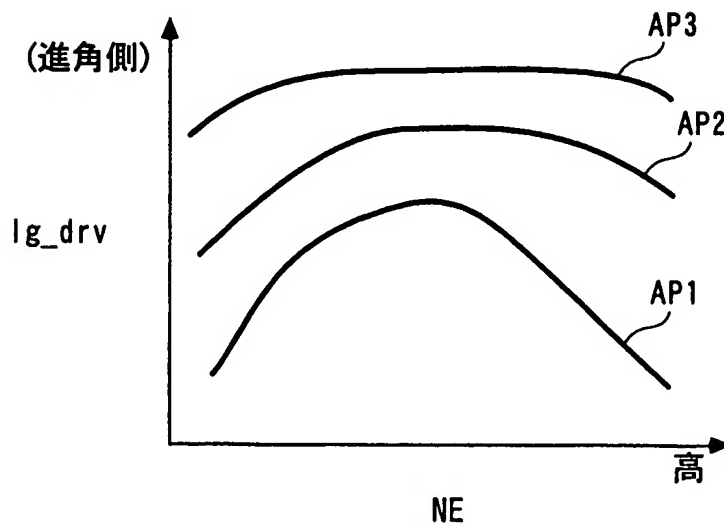
$$Enast(m) = NE(m) - NE_ast \quad \dots\dots (66)$$

$$Ig_fs = Ig_fs_base - Krch^{\#\#} \cdot \sigma^{\#\#}(m) - Kadp^{\#\#} \sum_{i=0}^m \sigma^{\#\#}(i) \quad \dots\dots (67)$$

$$\sigma^{\#\#}(m) = Enfs(m) + POLE^{\#\#} \cdot Enfs(m-1) \quad \dots\dots (68)$$

$$Enfs(m) = NE(m) - NE_fs \quad \dots\dots (69)$$

[図50]



[図51]

$$Gcyl_cmd_f(k) = -POLE_f \cdot Gcyl_cmd_f(k-1) + (1+POLE_f) \cdot Gcyl_cmd(k) \quad \dots\dots (70)$$

$$Liftin_cmd_ms(k) = Urch(k) + Uadp(k) \quad \dots\dots (71)$$

$$Urch(k) = -\frac{Krch}{b1} \cdot \sigma(k) \quad \dots\dots (72)$$

$$Uadp(k) = -\frac{Kadp}{b1} \cdot \omega(k) \quad \dots\dots (73)$$

$$\omega(k) = \omega(k-1) + \sigma(k) \quad \dots\dots (74)$$

$$\omega(k) = -\frac{Krch}{Kadp} \cdot \sigma(k) \quad \dots\dots (75)$$

$$\sigma(k) = Egc(k) + POLE \cdot Egc(k-1) \quad \dots\dots (76)$$

$$Egc(k) = Gcyl(k) - Gcyl_cmd_f(k) \quad \dots\dots (77)$$

[図52]

$$Gcyl_cmd_f(k) = -POLE_f \cdot Gcyl_cmd_f(k-1) + (1+POLE_f) \cdot Gcyl_cmd(k) \quad \dots\dots (78)$$

$$Cain_cmd_ms(k) = Urch'(k) + Uadp'(k) \quad \dots\dots (79)$$

$$Urch'(k) = -\frac{Krch'}{b1} \cdot \sigma'(k) \quad \dots\dots (80)$$

$$Uadp'(k) = -\frac{Kadp'}{b1} \cdot \omega'(k) \quad \dots\dots (81)$$

$$\omega'(k) = \omega'(k-1) + \sigma'(k) \quad \dots\dots (82)$$

$$\omega'(k) = -\frac{Krch'}{Kadp'} \cdot \sigma'(k) \quad \dots\dots (83)$$

$$\sigma'(k) = Eg_c(k) + POLE' \cdot Eg_c(k-1) \quad \dots\dots (84)$$

$$Eg_c(k) = Gcyl(k) - Gcyl_cmd_f(k) \quad \dots\dots (85)$$

[図53]

